Implementação de Fontes de Energia Renovável em Meio Urbano

O Caso do Bairro da Portela de Sacavém

Filipe Carreira Serra

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Física Tecnológica

Júri

Presidente: Prof. João Carlos Carvalho de Sá Seixas
Orientador: Prof. João Carlos Carvalho de Sá Seixas
Co-orientador: Dr. Gianfranco Sorasio
Vogais: Dr. João Wemans
Dr. Luís Miguel Pereira Pina

Novembro de 2010

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Prof. João Seixas e ao Eng.º Gianfranco Sorasio pelo apoio e oportunidade de realizar a tese sobre um tema importante e em colaboração com a empresa WS Energia S.A..

À Eng.ª Margarida Henriques da empresa EDP Distribuição pela disponibilidade em fornecer os dados referentes à distribuição de electricidade na freguesia da Portela.

À ex-presidente da Junta de Freguesia da Portela, Sr.ª Maria das Neves e à sociologa Sr.ª Teresa Raposo pela informação fornecida. Ao presidente da Câmara Municipal de Loures, Eng.º Carlos Teixeira, pelo interesse demonstrado.

À Dr.ª Ana Estanqueiro e à Dr.ª Helena Ramos pelas informações prestadas sobre as tecnologias eólica e mini-hídrica.

À Gisela Mendes pela sua presença constate e apoio oferecido. Aos colegas de curso Filipa Reis e João Lopes.

Por fim, agradecer ao meus pais pela atenção e sustento proporcionados e também ao meu irmão.

Resumo

O objectivo desta tese consiste em quantificar o potencial de uma área urbana para a produção de energia a partir de fontes renováveis. Tomou-se a freguesia da Portela como caso de estudo e desenvolveu-se uma metodologia e um conjunto de procedimentos de acordo com a fonte renovável em causa.

Começou-se por recolher os dados geográficos e sociais da freguesia, seguido da informação sobre o sistema de distribuição de electricidade, nomeadamente os consumos horários de electricidade para aquela área urbana, durante um período de um ano.

Foi criado um modelo tri-dimensional do edificado da Portela que tem em conta o sombreamento, de modo a melhor avaliar a implementação de fontes renováveis como é o caso do solar fotovoltaico.

As tecnologias estudadas com maior detalhe foram o solar fotovoltaico em colaboração com a empresa WS Energia S.A. e a eólica, tendo-se obtido resultados importantes como a potência instalada, a electricidade produzida, os custos associados, as emissões de CO_2 evitadas, entre outros.

Desenvolveu-se um modelo do mercado energético nacional, com especial atenção para o sistema de produção de electricidade. Simulou-se a evolução futura da produção e consumo de electricidade. Com base em alguns resultados obtidos no estudo da Portela, introduziu-se na simulação a hipótese de explorar o grande potencial que existe em produzir electricidade a partir de fontes renováveis em meio urbano, à escala nacional.

Palavras chave: Solar fotovoltaico, eólica, fontes de energia renovável, meio urbano, produção de electricidade.

Abstract

The objective of this thesis is to quantify the potential for producing energy from renewable sources in urban areas. The Portela civil parish served as a case study, and it was developed a methodology and a group of procedures according to each studied renewable source.

The first step consisted in retrieving important data like geographic and social characteristics of this urban area, and also hourly real measures of electricity consumption during a one-year period.

It was created a tridimensional model of Portela's buildings that takes into account shadow effects, so it would be more precise to evaluate the feasibility of implementing solar photovoltaic systems.

The technologies studied in more detail were solar photovoltaics in collaboration with the company WS Energia S.A. and wind energy, achieving important results like, installed power, quantity of electricity generated, associated producing costs, CO_2 avoided emissions and many others.

Finally, it was developed a national energy market model, with special focus on the electricity generation system. A simulation on the future development of supply and demand for electricity was run. Based on some results from Portela case study, the hypothesis of exploring the great potential for producing electricity from renewable sources in urban areas nationwide, was tested on the simulation.

Keywords: Solar photovoltaics, wind energy, renewable energy resources, urban area, electricity generation.

Índice

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

Nomenclatura

tep Tonelada equivalente de petróleo

Btu British Thermal Unit - Unidade térmica Britânica

IEA Agência Internacional de Energia

OCDE Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

EPIA European Photovoltaic Industry Association - Associação da Indústria Fotovoltaica Europeia

Wp Watt-pico

FER Fonte de energia renovável

PV Photovoltaics - Solar fotovoltaico

PVGIS Photovoltaic Geographical Information System - Sistema Geográfico de Informação Fotovoltaica

ESCO Energy Service Company - Empresa de Serviços Energéticos

WINEUR Wind Energy Integration in the Urban Environment (Project) - Integração da energia eólica em ambiente urbano (Projecto)

LNEG Laboratório Nacional de Energia e Geologia

APREN Associação de Energias Renováveis

PNAER Plano de Acção de Nacional para as Energias Renováveis

PRE Produção em Regime Especial

SEN Sistema Eléctrico Nacional

Capítulo 1

Introdução

Com o objectivo de melhor compreender a importância do desenvolvimento e implementação de fontes de energia renovável, é essencial conhecer o paradigma actual do sistema energético mundial, assim como as mais importantes consequências económicas, sociais e ambientais, que advêm do uso da energia.

Assim, será feita uma abordagem ao panorama energético, desde uma vertente mundial até ao caso português, focando aspectos essenciais como consumos de energia primária, distribuição dos tipos de fontes de energia para produção de electricidade, emissões de CO_2, características do sector energético, tendências de evolução a médio prazo, entre outros.

A actual conjuntura ambiental, em especial, as alterações climáticas causadas principalmente pelo aumento da temperatura média global, exigem o uso de fontes de energia com emissões de CO_2 inferiores às actuais, ou mesmo nulas. É neste contexto, na redução do peso dos combustíveis fósseis no sector energético e das emissões de CO_2 e outros poluentes, que surgem como parte da solução, as energias renováveis.

Deste modo, é impreterível abordar as energias renováveis, focando as várias tecnologias existentes, o estado da arte, custos e preços, desenvolvimento do mercado e a política europeia associada à implantação deste tipo de fontes.

Tendo em conta as características das fontes de energia renovável, estas possuem um grande potencial de aplicação em meio urbano, que no entanto não se encontra aproveitado. Associado a esse enorme potencial, existem diversas vantagens como a redução das perdas de transmissão e distribuição de energia, assim como os custos associados, a diminuição do consumo de energia proveniente da rede de distribuição, e a relativamente rápida implementação devido à natureza modular destas tecnologias.

Conjuntamente com a aplicação de energias renováveis em meio urbano, é necessário melhorar a eficiência energética dos edifícios, uma vez que cerca de 40% da energia primária consumida na União Europeia, resulta do consumo em edifícios. Logo, é importante mostrar exemplos da aplicação energias renováveis conjugadas com medidas de eficiência energética, como é o caso do bairro *BedZED* situado em Inglaterra, evidenciando os resultados obtidos.

O estudo da implementação de fontes de energia renovável e a optimização do uso da energia é especialmente importante em áreas urbanas consolidadas, uma vez que nos países desenvolvidos, e

também em alguns países em vias de desenvolvimento, a construção de novo edificado representa uma pequena parte do total de edifícios já existentes. Embora seja essencial que o futuro planeamento de novas áreas urbanas tenha em consideração esta temática, o elevado potencial reside na grande maioria das áreas urbanas já edificadas, para as quais se têm de criar soluções aplicáveis em larga escala, ao nível das energias renováveis e da eficiência energética.

A longo prazo, o consumo de energia nas cidades tenderá a aumentar, devido ao aumento da população. Logo, o desenvolvimento sustentável em meio urbano, passa pela utilização racional da energia, aliada a uma transição das fontes de energia fóssil para fontes de energia renovável. Esta é a ideia que a presente introdução irá desenvolver e demonstrar a sua enorme importância.

1.1 Contexto energético, indicadores e estatísticas

O objectivo desta secção consiste em apresentar dados estatísticos relativos ao sector energético, partindo do contexto global, passando pelo europeu e focando o contexto nacional.

Os temas abrangidos serão sobretudo o consumo de energia primária, a produção de electricidade e as fontes associadas, as emissões de CO_2, e as produção de energia a partir de fontes renováveis. Os dados apresentados referem-se principalmente aos últimos dez a vinte anos anos.

1.1.1 A nível mundial

Desde à várias décadas que o consumo de energia primária mundial tem vindo a aumentar, passando de 6115 Mtep em 1973 para 12029 Mtep em 2007, o que praticamente representa uma duplicação da quantidade de energia consumida anualmente. A figura 1.1 mostra essa evolução entre 1971 e 2007, em função da fonte energética.
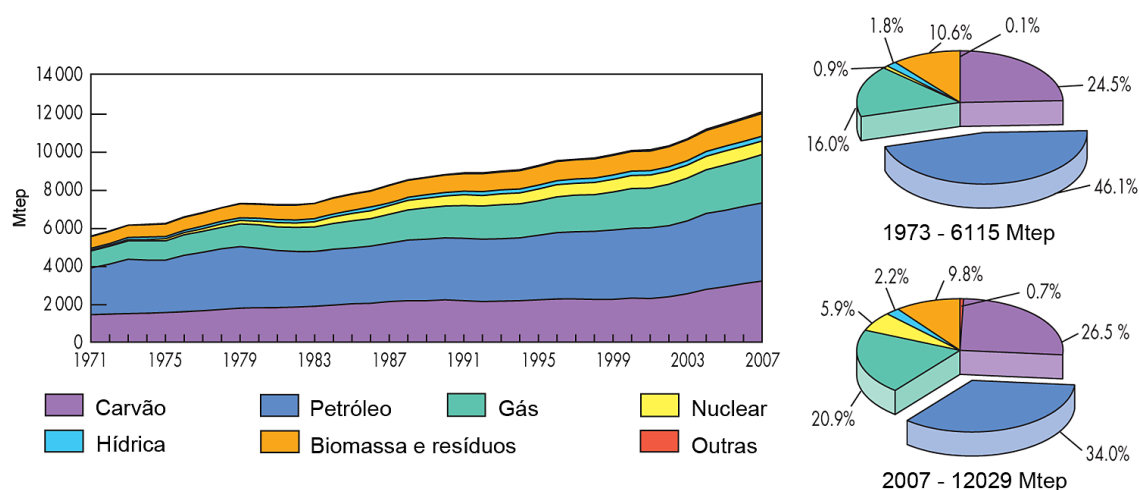
Figura 1.1: Consumo mundial de energia primária em Mtep, entre 1971 e 2007, em função da fonte energética. [1]

Constata-se que em termos absolutos, a quantidade de energia produzida por cada fonte tem vindo a aumentar. Esta tendência acentuou-se na última década, especialmente devido aos países em vias de desenvolvimento, os quais aumentaram as suas necessidades energéticas. Desde 1973, que a quota

de petróleo diminui, devido sobretudo ao aumento de outras fontes, como é o caso do gás natural, do carvão e do nuclear.

Quanto ao consumo de electricidade, este também segue a mesma tendência, sendo que passou de 6116 TWh em 1973 para 19771 TWh em 2007, o que consiste num valor cerca de 3 vezes superior ao inicial. A figura 1.2 mostra essa evolução entre 1971 e 2007, em função da tecnologia energética.
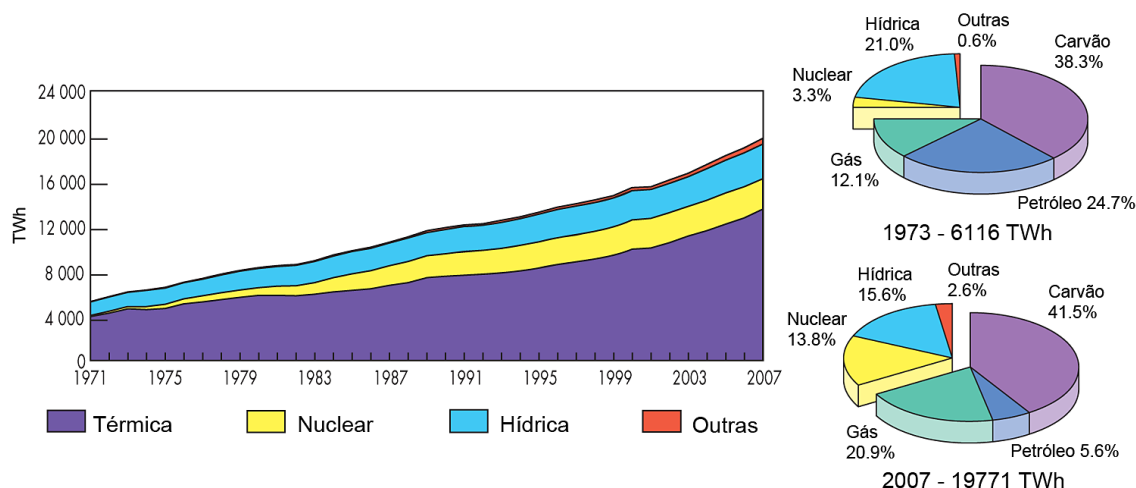
Figura 1.2: Consumo mundial de electricidade em TWh, entre 1971 e 2007, em função da tecnologia energética. [1]

A produção de electricidade através da queima de combustíveis fósseis permanece dominante, embora a sua quota tenha diminuído 7,1% no período considerado. Tal diminuição deve-se em grande parte ao desenvolvimento da energia nuclear a partir da década de 1970. Relativamente ao tipo de combustíveis fósseis, verifica-se um grande decréscimo no uso do petróleo, o qual é substituído pelo carvão e especialmente pelo gás natural, uma vez que é mais rentável a utilização do petróleo noutros sectores, como o dos transportes.

É notório o surgimento de outras fontes de produção de electricidade, nomeadamente fontes de energia renovável como a eólica, o solar fotovoltaico e a biomassa, as quais começaram a ser implementadas em maior escala nas últimas duas décadas.

O uso de combustíveis fósseis levou, nomeadamente, à emissão de gases causadores de efeito de estufa, como o CO_2. A figura 1.3 mostra essa evolução entre 1971 e 2007, em função do combustível fóssil.

Devido à crescente utilização deste tipo de combustíveis, a quantidade de dióxido de carbono emitida anualmente quase que duplicou entre 1973 e 2007, passando de 15640 Mt para 28962 Mt. No período considerado, a quota do petróleo nas emissões diminui bastante sendo acompanhado por um aumento da quota de emissões associadas ao carvão e gás natural. A explicação para este facto já foi apresentada: redução da utilização do petróleo para produzir electricidade.

Na última década houve um grande aumento anual das emissões de CO_2 devido à crescente industrialização de países em vias de desenvolvimento. Assim, é de grande importância desenvolver a tecnologia de captura e sequestração de carbono, a qual permitirá reduzir significativamente as emissões especialmente em centrais térmicas a carvão.
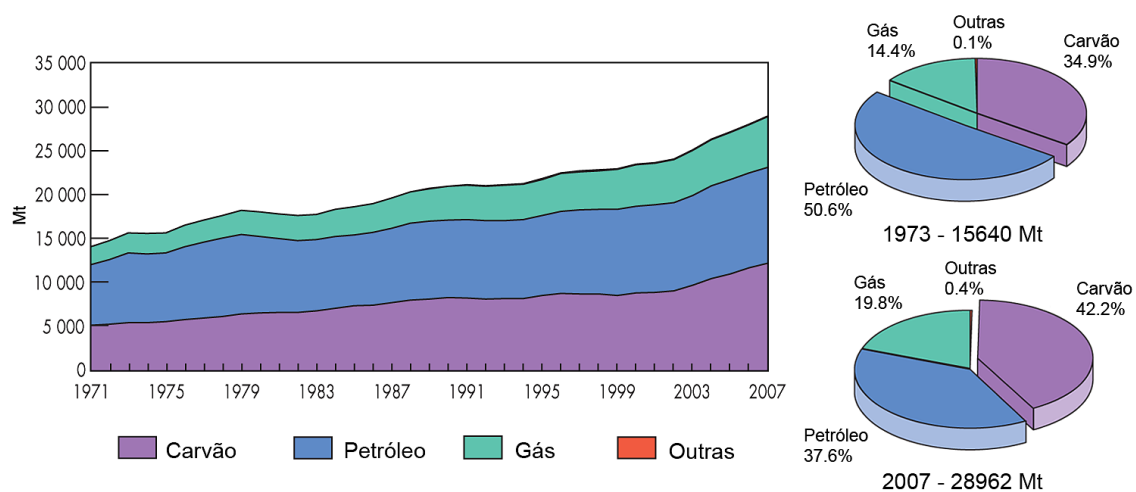
Figura 1.3: Emissões mundiais de CO_2 em Mt, entre 1971 e 2007, em função do tipo de combustível fóssil. [1]

Os dados anteriormente apresentados evidenciam que o paradigma de desenvolvimento mundial está extremamente ligado ao crescente consumo de energia, e que esta tendência não apresenta sinais claros de mudança. Para além da economia mundial estar muito dependente dos combustíveis fósseis, o uso intensivo da energia é uma prática comum, como prova o consumo médio anual de electricidade per capita nos países da OCDE, que foi de 8477 kWh no ano de 2007.

1.1.2 A nível europeu

Com 500 milhões de habitantes, ou seja, cerca de 7,3% da população mundial, e um produto interno bruto correspondente a 30% do total mundial, o conjunto de 27 países que pertencem à União Europeia têm um peso importante nos sectores económico e energético a nível global.
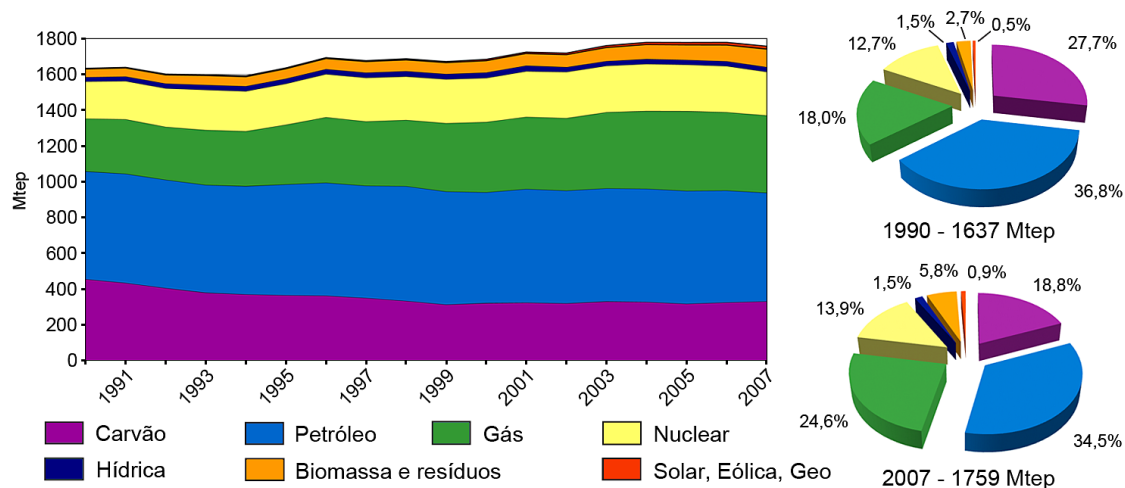
Figura 1.4: Consumo de energia primária em Mtep dos 27 países da UE, entre 1990 e 2007, em função da fonte energética. [2]

Como se trata de países que já atingiram um nível bastante elevado de desenvolvimento, o crescimento do consumo de energia primária é baixo quando comparado com outras regiões como a Ásia ou

África, sendo que entre 1990 e 2007 se verificou um aumento de 7,5% do consumo de energia primária, resultando numa média anual de 0,44%. No entanto o consumo de energia per capita é elevado, o que é comum nos países desenvolvidos, sendo de 3,55 tep/capita em 2007.

A evolução do consumo de energia primária em função da fonte energética, encontra-se no gráfico da figura 1.4. Entre 1990 e 2007, as principais mudanças foram o menor do uso do carvão que diminuiu a sua quota para 18,8% em 2007 e o aumento da quota do gás natural em 6,6%, o que é uma evolução benéfica dado que a queima de gás natural é menos poluente e tem maior rendimento do que o carvão. Também se verificou um ligeiro aumento de fontes alternativas como é o caso da biomassa e resíduos, assim como das tecnologias solar e eólica.

Relativamente ao consumo de electricidade, este passou de 2579 GWh para 3329 GWh no período entre 1990 e 2007, representando um aumento de 29,6%, ou seja, 1,7% de média anual. Esta evolução encontra-se no gráfico da figura 1.5.
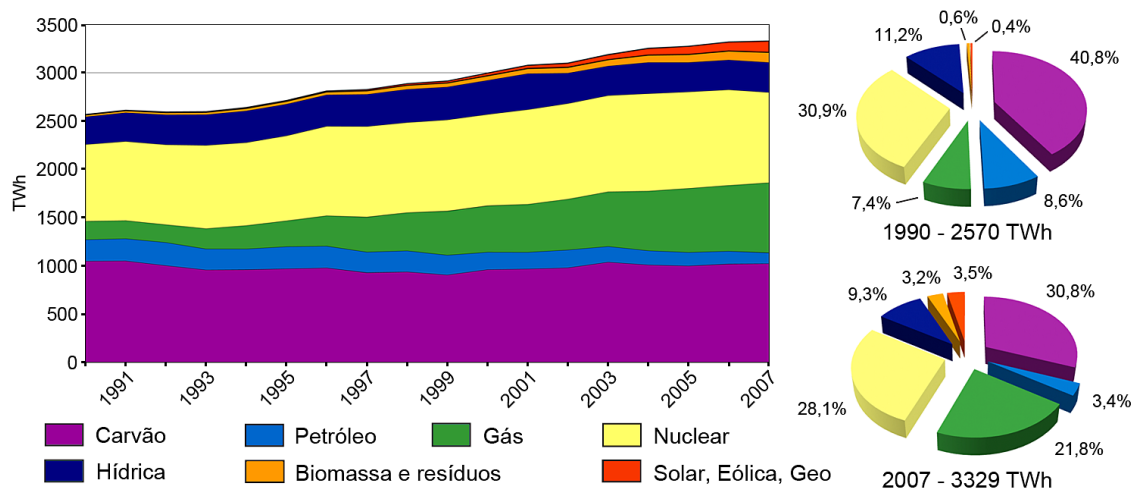
Figura 1.5: Consumo de electricidade em GWh dos 27 países da UE, entre 1990 e 2007, em função da tecnologia energética. [2]

A evolução demonstra que embora a queima de combustíveis fósseis para a produção de electricidade permaneça dominante e a sua quota praticamente inalterada, a distribuição pelo tipo de combustíveis modificou-se consideravelmente: ocorreu uma diminuição do uso de carvão e petróleo, a qual foi colmatada pelo aumento da potência instalada de centrais térmicas a gás natural, muitas das quais com ciclos de co-geração.

Constata-se também o aumento da produção de electricidade através de fontes renováveis, nomeadamente biomassa, solar e eólica, já que nas últimas décadas surgiram políticas europeias de incentivo à implementação e difusão deste tipo de fontes, e que também possibilitam importantes avanços tecnológicos. Em 2007, a produção de electricidade proveniente de fontes renováveis foi de 499,8 TWh, isto é, 15% do total de electricidade produzida na União Europeia.

A União Europeia tem sido pioneira no desenvolvimento de medidas para reduzir as emissões de gases causadores de efeito de estufa, como o CO_2. Entre 1990 e 2007, as emissões de CO_2 provenientes da queima de combustíveis fósseis passaram de 4059,4 Mt para 3926,4 Mt, o que representa uma diminuição de 3,3%, sendo a UE a única grande região a nível mundial que diminui as emissões

Indicadores simples		Indicadores compostos	
População (milhões)	496,0	Energia primária/População (tep/capita)	3,55
PIB (mil milhões de 2000 USD)	9827,3	Energia primária/PIB (tep/milhares de 2000 USD)	0,18
Energia primária (Mtep)	1758,9	Electricidade/População (kWh/capita)	6713
Electricidade (TWh)	3329,4	Renováveis/População (kWh/capita)	1008
Renováveis (TWh)	499,8	CO_2/População (t/capita)	7,92
Emissões de CO_2 (Mt)	3926,4	CO_2/Energia primária (t/tep)	2,23

Tabela 1.1: Principais indicadores energéticos do total de 27 países da UE, para o ano de 2007. [2]

de CO_2 no período considerado.

A tabela 1.1 resume os factos mais importantes apresentados anteriormente.

1.1.3 A nível nacional

Portugal é um país com uma elevada dependência energética externa, uma vez que não possui recursos petrolíferos próprios, nem jazidas de gás natural ou minas de carvão em actividade. Estas formas de energia primária têm de ser importadas, fazendo com que Portugal esteja sujeito a factores externos como a volatilidade dos preços nos mercados.

Em 2008 Portugal consumiu 24462 ktep em energia primária, importando um total de 24023 ktep, desde carvão, produtos petrolíferos e derivados, gás natural e electricidade. Exportou o equivalente a 3836 ktep, especialmente produtos refinados a parir do petróleo importado, e teve uma produção doméstica de 4373 ktep, composta maioritariamente por electricidade, lenhas e resíduos vegetais. Assim, em 2008 o país dependeu do estrangeiro em 82% da energia primária que consumiu, enquanto que somente 18% foi de origem interna. [3] Na última década, a percentagem de energia primária importada tem variado entre 82% e 89%, não apresentando uma tendência definida a médio prazo, quer de descida ou de subida.
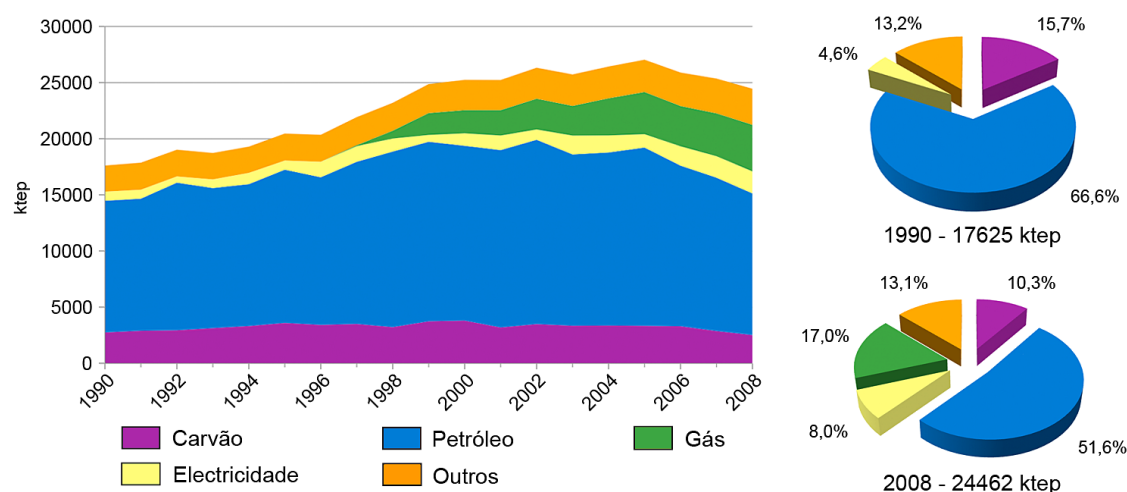
Figura 1.6: Consumo de energia primária em ktep de Portugal, entre 1990 e 2008, em função da fonte energética. [3]

O gráfico da figura 1.6 mostra a evolução entre 1990 e 2008, do consumo de energia primária

consoante a fonte de energia. Entre 1990 e 2008 o consumo total de energia primária aumentou 38,8%, com uma média anual de 1,9%, embora entre 2006 e 2008 tenha ocorrido uma descida contínua no consumo, devido sobretudo ao abrandamento económico do país.

Consta-se que o petróleo tem um peso bastante importante na economia nacional, representando 51,6% da energia consumida em 2008. O gráfico também mostra a diversificação das fontes de energia primária, com a introdução do gás natural a partir de 1997 e que se tornou na segunda maior fonte de energia com uma quota de 17,0%. Os outros tipos de fontes e que representam 13,1% da energia consumida incluem a biomassa (lenhas e resíduos vegetais), resíduos sólidos urbanos, biogás e biodísel. Em termos absolutos, a quantidade de carvão consumida não sofre grandes alterações, variando entre 2526 ktep e 3813 ktep no período considerado.

Quanto ao consumo por sectores, em 2008 os transportes foi o sector que mais energia primária utilizou, perfazendo 37% do total. Seguem-se os sectores da indústria e doméstico, com 30% e 17%, respectivamente, e por fim o sector dos serviços com 12% do consumo total. No período entre 1990 e 2008, os sectores onde o consumo de energia primária mais cresceu foram o dos transportes e o dos serviços, com um crescimento de 86,9% e 173,5%, respectivamente. O consumo nos outros sectores cresceu cerca de 30%.

Relativamente à produção de electricidade, esta é efectuada recorrendo principalmente a centrais térmicas a carvão, gás natural, fuelóleo ou biomassa. O parque termoeléctrico nacional é constituído por 10 centrais, sendo as mais importantes a de Sines e do Pego, a carvão, as do Ribatejo, Lares, e Tapada do Outeiro, de ciclo combinado a gás natural, e a de Setúbal a fuelóleo. Estas 6 centrais representam 86% da potência instalada a nível térmico, que é de 6734 MW.

Ao nível dos aproveitamentos hidroeléctricos, existem 4578 MW em potência instalada, que é constituída por 93 grupos geradores, distribuídos por 35 centrais e agregados em termos operacionais em três centros de produção: Cávado-Lima, Douro e Tejo-Modego. Acrescem ainda as centrais de mini-hídrica que totalizam uma potência instalada de 333 MW.
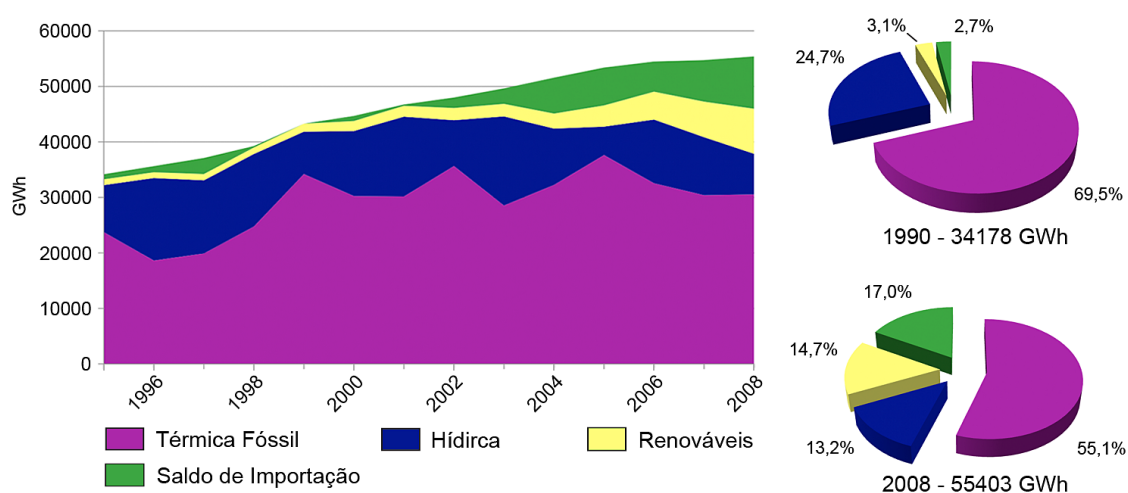
Figura 1.7: Consumo de electricidade em GWh de Portugal, entre 1995 e 2008, em função da tecnologia energética. [3]

No que concerne às restantes fontes renováveis, Portugal apostou na implementação deste tipo de

fontes, sendo que entre 2000 e 2008 a potência instalada aumentou cerca de 565%, com a eólica a ser a grande responsável por tal aumento, passando de uma potência instalada de 83 MW para 3030 MW. A biomassa e o solar fotovoltaico têm 492 MW e 59 MW de potência instalada, respectivamente, e por fim a geotérmica com 30 MW.

No gráfico da figura 1.7 encontra-se a evolução do consumo de electricidade entre 1995 e 2008, o qual aumentou de 34178 GWh para 55403 GWh, crescendo continuamente com uma média anual de 3,8%. Constata-se que mais de metade da electricidade consumida provém da queima de combustíveis fósseis, com uma quota de 55,1% em 2008, sendo a restante electricidade produzida a partir de fontes renováveis, e importada do estrangeiro.

No mesmo gráfico, observa-se que nos anos de menor produção hidroeléctrica, esta é compensada pelas centrais térmicas. Outro dado interessante é o aumento da produção de electricidade através das restantes fontes renováveis, principalmente a eólica, chegando a atingir uma quota de 14,7% em 2008. Este gráfico mostra ainda que Portugal dependente do exterior ao nível da produção de electricidade e que tal situação tem vindo a acentuar-se desde 2002, com o aumento progressivo da sua importação, chegando a representar 17,0% da electricidade consumida em 2008.

As emissões anuais de CO_2 devido à queima de combustíveis fósseis cresceram de forma contínua até o ano de 2000, tendo a partir daí estabilizado em torno de 55 Mt. Se contabilizarmos todas as actividades humanas, o valor obtido é de 62,8 Mt para o ano de 2007.

Indicadores simples		Indicadores compostos	
População (milhões)	10,62	Energia primária/População (tep/capita)	2,30
Energia primária (ktep)	24462	Electricidade/População (kWh/capita)	5216
Electricidade (GWh)	55403	Renováveis/População (kWh/capita)	1251
Renováveis (GWh)	13286	CO_2/População (t/capita)	5,20
Emissões de CO_2 em 2007 (Mt)	55,2	CO_2/Energia primária (t/tep)	2,26

Tabela 1.2: Principais indicadores energéticos de Portugal, no ano de 2008. [3]

A tabela 1.2 resume a informação mais importante apresentada anteriormente.

1.2 Cenário energético futuro

Nesta secção será apresentado um possível cenário para a evolução do sistema energético global até 2030, desenvolvido com base nos dados da IEA (Agência Internacional de Energia), nomeadamente a partir da sua publicação anual *World Energy Outlook*. [4]

Este cenário de referência engloba os efeitos das várias medidas e políticas governamentais que foram adoptadas até 2008, mesmo que ainda não tenham sido totalmente implementadas. Possíveis ou potenciais iniciativas que possam vir a ser postas em prática não serão consideradas. Por esta razão, as projecções deste cenário não deverão ser vistas como o que irá realmente acontecer, mas como uma visão base da evolução do mercado energético no caso em que as políticas energéticas actuais se mantenham.

Estima-se que a população mundial cresça a uma média anual de 1%, partindo de 6,5 mil milhões

de habitantes em 2006, até 8,2 mil milhões em 2030, sendo que os países que não pertencem à OCDE terão as maiores taxas de crescimento populacional.

Um dos principais indicadores da evolução da procura de energia é o crescimento do produto interno bruto. Até 2030 espera-se um crescimento médio anual de 3,3%, que reflecte um peso cada vez maior das economias de países fora da OCDE (nomeadamente países asiáticos e africanos), onde o crescimento económico permanecerá acelerado.

O preços dos combustíveis fósseis como o petróleo, gás natural ou carvão, são também indicadores determinantes no mercado energético global, e influenciam-no de forma transversal, desde o consumo de energia primária, passando pelos transportes, até à utilização de electricidade pelo consumidor final.

Estima-se que entre 2010 e 2030 o preço do barril de petróleo aumente gradualmente, podendo atingir em 2030 os $122 (preço em termos reais de 2007) o que equivaleria a um preço nominal de $206. Quanto ao preço do gás natural, o qual se encontra fortemente ligado ao preço do barril de petróleo, quer directamente por indexação ou indirectamente através da concorrência entre ambos os produtos, prevê-se que até 2030 o preço siga proporcionalmente o aumento do preço do barril de petróleo. Assim, em 2030 o preço do gás natural por MBtu poderá atingir os $16 (preço em termos reais de 2007) ou $27 em termos nominais. O preço médio do carvão tem vindo a aumentar, atingindo um pico em 2008, e tal deve-se a um forte crescimento industrial e consequente procura de energia (especialmente na China e na Índia). Prevê-se que o seu preço por tonelada (em termos reais de 2007) aumente para $120 até 2015, ocorrendo uma diminuição até 2030 para $110. Espera-se que o preço nominal da tonelada de carvão em 2030 seja de $186.

As inovações tecnológicas e a sua aplicação têm uma grande importância na geração, distribuição e uso final da energia, influenciando tanto a quantidade de energia usada, como a distribuição pelas várias fontes de energia. É expectável que ocorra um aumento da eficiência energética ao nível dos equipamentos que consomem energia, no entanto, o seu efeito será gradual uma vez que os actuais equipamentos serão progressivamente substituídos por outros mais eficientes, à medida que o seu tempo de vida termina. Quanto ao fornecimento de energia, espera-se um aumento da eficiência das centrais térmicas, assim como se esperam melhores técnicas para exploração de petróleo e gás natural.

Algumas tecnologias encontram-se perto da fase de comercialização (por volta do ano de 2020) como é o caso da captura e sequestração de carbono, da segunda geração de bio-combustíveis ou da conversão de carvão em combustível líquido. No que respeita à primeira, actualmente existem 4 centrais de demonstração que separam cerca de 1 Mt de CO_2 por ano. Permanecem ainda algumas barreiras técnicas, económicas e legais que deverão ser ultrapassadas. Estão planeadas ou em fase de construção mais 20 projectos de demonstração desta tecnologia. No que toca às duas outras tecnologias, ambas necessitam de mais pesquisa e desenvolvimento para melhorar o rendimento dos processos, de modo a se tornarem economicamente atractivas.

Todos estes factores anteriormente mencionados têm um peso bastante significativo na evolução futura do mercado energético global, sendo que o modelo procura estabelecer um ponto de equilíbrio entre a oferta e a procura tendo por base os preços e as quantidades dos produtos transaccionados.

Os principais resultados e previsões serão expostos nas quatro sub-secções seguintes.

1.2.1 Evolução global

Prevê-se um aumento do consumo de energia primária a nível global de cerca de 45%, de 11730 Mtep em 2006 para 17014 Mtep em 2030, resultando num crescimento médio anual de 1,6%.

Calcula-se que a procura mundial de carvão subirá em média 2% anualmente, passando a sua quota no mercado global de 26% em 2006 para 30% em 2030. Grande parte deste aumento na procura deve-se ao sector de produção de electricidade. A China e a Índia contribuirão em conjunto com 85% do aumento na procura de carvão, até ao ano de 2030.

O petróleo permanecerá a fonte de energia primária dominante, embora a sua quota diminua de 34% em 2006, para 30% em 2030. A sua procura no mercado cresce mais lentamente do que os restantes combustíveis fósseis devido, especialmente, aos preços finais mais elevados do petróleo e derivados. A procura de gás natural aumentará em média 1,8% por ano e a sua quota a nível global atingirá 22% em 2030. Parte deste esperado aumento no consumo de gás natural, deve-se ao surgimento de novas centrais de produção de electricidade baseadas em turbinas a gás de alta eficiência.

Quanto à energia nuclear, espera-se uma diminuição da sua quota a nível global, de 6% para 5% em 2030, reflectindo a assunção de que não serão tomadas medidas de incentivo ao uso deste tipo de energia. No entanto, em termos absolutos existe um aumento desta fonte de energia, excepto nos países europeus da OCDE.

A energia hídrica tem sido uma das importantes fontes de produção de electricidade, permanecendo como tal nas próximas décadas. Embora grande parte dos recursos hidroeléctricos dos países desenvolvidos se encontre explorada, existem em curso grandes projectos para o aproveitamento desta fonte de energia nos países em vias de desenvolvimento. A produção de energia hidroeléctrica crescerá em média 1,9% ao ano e a sua quota na energia primária mundial será de 2% em 2030.

Espera-se que o uso de biomassa e de resíduos para a produção de energia aumente em média 1,4% por ano, representando 10% em 2030. Este tipo de fonte de energia é usada de forma diferente pelos países: a utilização de da biomassa em aplicações avançadas como os biocombustíveis ou para produção de electricidade ou calor tem aumentado acentuadamente em países desenvolvidos, enquanto que o uso tradicional de biomassa em países em vias de desenvolvimento cresce a um ritmo menor.

Outros tipos de energia renovável incluem a energia solar, eólica, geotérmica, ondas e marés. Juntos representam o sector com o maior crescimento até 2030, com uma média anual de 7,2%. Grande parte deste aumento ocorrerá no sector da produção de electricidade, onde a quota passará de 1% em 2006 para 4% em 2030.

Na figura 1.8 encontra-se a evolução do consumo mundial de energia primária entre 1980 e 2030, de acordo com o tipo de fonte energética. Claramente se constata que segundo as previsões, os combustíveis fósseis continuarão a ter um peso bastante grande, nomeadamente nos sector dos transportes e também no sector da produção de electricidade, representando 80% do total de energia primária.

A procura e consumo de energia em países que não pertencem à OCDE excedeu a dos países da OCDE em 2005 pela primeira vez na história, sendo que o rápido crescimento da procura de energia fora da OCDE irá continuar. Impulsionados essencialmente pelo acelerado crescimento das economias
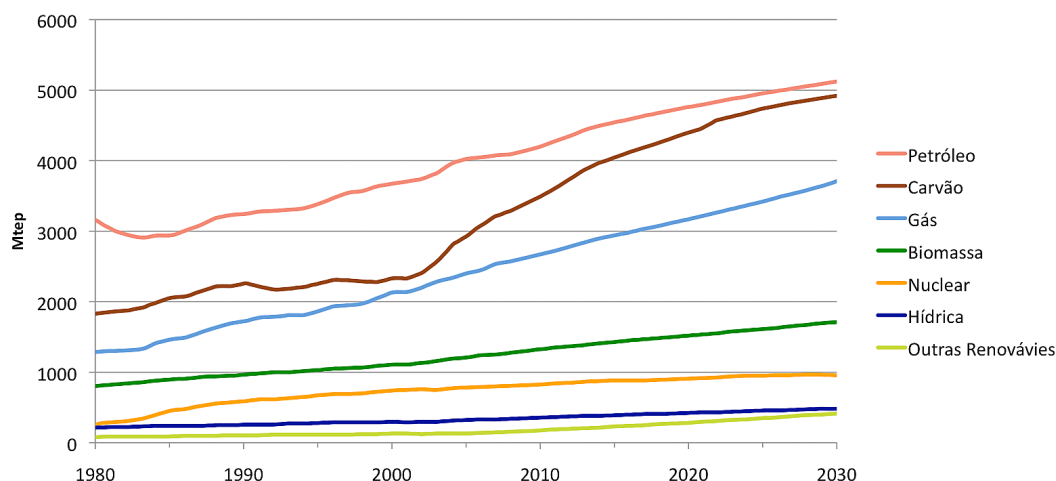
Figura 1.8: Consumo de energia primária a nível mundial, por tipo fonte energética. Dados reais entre 1980 e 2006 e previsão entre 2006 e 2030. [4]

da China e da Índia, os países fora da OCDE serão responsáveis por 87% do aumento global do consumo de energia primária entre 2006 e 2030. Como resultado, a quota destes países no consumo mundial de energia primária, aumentará de 51% em 2006 para 62% até 2030.

Perante esta possível evolução, as emissões de CO_2 relacionadas com o uso de energia aumentarão 45%, passando de 27,9 Gt em 2006 para 40,6 Gt em 2030, sendo que 97% desse aumento se deve a países em vias de desenvolvimento ou que não pertencem à OCDE e que continuarão a basear o seu desenvolvimento no uso intensivo de combustíveis fósseis.

1.2.2 Consumo e produção de electricidade

A procura mundial de energia eléctrica cresceu praticamente 25% entre 2000 e 2006, com quase três quartos desse aumento devido a países fora da OCDE onde a procura aumentou 50%. Nos países da OCDE fixou-se em 10%. No mesmo período a China duplicou o seu consumo de energia, contribuindo em 40% para esse aumento global do consumo de electricidade. Entre 2000 e 2006 o consumo de electricidade mundial cresceu em média 3,6% ao ano, seguindo o crescimento do produto interno bruto.

Espera-se que no período entre 2006 e 2015 o crescimento anual do consumo de electricidade mundial seja de 3,2%, diminuindo para 2% por ano entre 2015 e 2030. Este abrandamento reflecte uma expectável mudança nas economias dos países fora da OCDE, de uma indústria que requer grandes quantidades de energia, para uma indústria mais ligeira, complementada por uma implementação mais ampla de medidas de eficiência energética.

O consumo de energia eléctrica mundial cresce de 15665 TWh em 2006 para um valor previsto de 20760 TWh em 2015 e de 28140 TWh em 2030, sendo que os países que não pertencem à OCDE são responsáveis por 77% deste aumento previsto. Nos países da OCDE, o consumo de electricidade cresce em média 1,1% ao ano, passando de 9035 TWh em 2006 até 11843 TWh em 2030, o que perfaz um aumento de 31%. Por contraste, nos países fora da OCDE, o consumo de energia cresce 146% no mesmo período, de 6630 TWh em 2006 para 16298 TWh em 2030, representando um aumento médio

de 3,8% ao ano.

Apesar deste enorme aumento da procura de electricidade nos países em vias de desenvolvimento, e de se esperar que até 2030 o consumo per capita duplique para um valor médio de 2400 kWh/ano, está-se perante um valor que ainda é consideravelmente inferior à presente média dos países da OCDE, que é de 7641 kWh/ano.

Ao nível da produção de electricidade, esta aumenta de 18921 TWh em 2006 para 24975 TWh em 2015, atingindo 33265 TWh em 2030. Obviamente que estes valores são um pouco maiores que os respectivos consumos anuais previstos, uma vez que têm em conta as perdas no transporte e o próprio consumo de electricidade nas centrais eléctricas. No gráfico da figura 1.9 encontra-se a produção mundial de electricidade para 2006 e 2030, detalhada consoante o tipo de fonte energética.
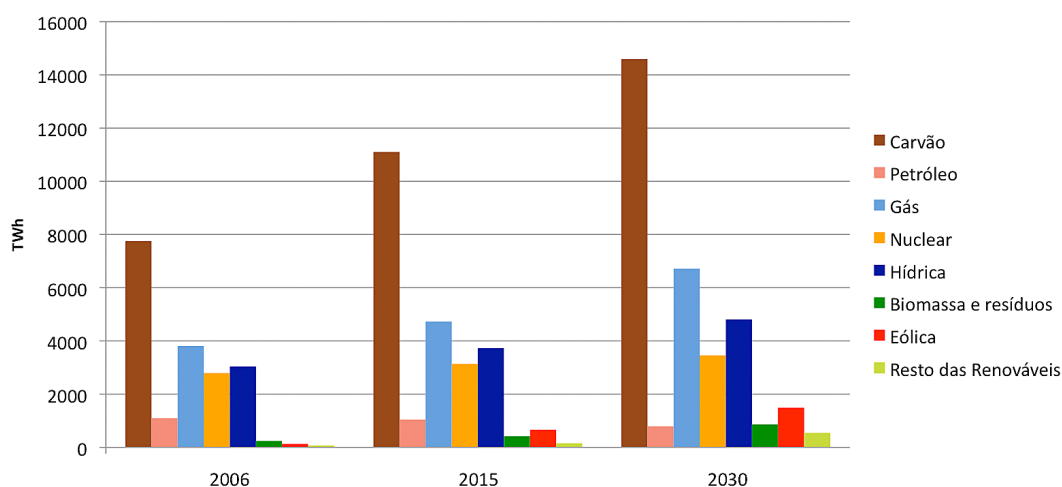
Figura 1.9: Produção de energia eléctrica a nível mundial (TWh), por tipo fonte energética. Dados reais de 2006 e previsão para 2015 e 2030. [4]

O carvão permanecerá como o principal combustível para produção de electricidade, e no período considerado a sua quota aumenta de 41% para 44% em 2030, devido essencialmente à sua crescente utilização por países em vias de desenvolvimento. As quotas do gás natural e do petróleo na produção total caem ligeiramente (de 20,12% para 19,25%, e de 5,79% para 2,31%, respectivamente), como consequência do aumento dos preços dos combustíveis fósseis. O mesmo acontece com a energia nuclear (de 14,76% para 10,40%), supondo que as políticas governamentais face a este tipo de fonte se mantêm inalteradas, ou seja, não aparecendo incentivos à sua utilização.

Um facto bastante importante é o aumento do peso das energias renováveis na produção de electricidade, onde a sua quota passa de 18% em 2006 para 23% em 2030. Em termos absolutos, espera-se que em 2030, a energia eléctrica produzida a partir de fontes renováveis seja superior à energia produzida pelo gás natural e petróleo juntos.

Prevê-se também que grande parte da electricidade provenha de centrais eléctricas, embora haja uma crescente tendência para o aumento do uso de fontes descentralizadas: a crescente procura de fontes fiáveis e mais próximas do local de consumo, assim como a existência de políticas governamentais de encorajamento à utilização de fontes combinadas de electricidade e calor, e de fontes de energia renovável, favorecem esta tendência.

Durante o período da projecção, espera-se que os preços da electricidade no consumidor final aumentem, reflectindo uma subida nos preços dos combustíveis e um aumento dos custos de construção de novas centrais eléctricas. Em média, nos países da OCDE, os preços da electricidade serão cerca de 11% mais elevados em 2030, o que pode encorajar o investimento em eficiência energética e em energias renováveis, possibilitando assim a redução do uso de combustíveis fósseis.

As emissões de CO_2 relacionadas com a produção de electricidade terão um aumento de 58%, passando de 11,4 Mt em 2006 para 18,1 Mt em 2030. Este grande aumento é praticamente devido aos países em vias de desenvolvimento, os quais contribuem em 94% do acréscimo de emissões até 2030.

1.2.3 Energias renováveis

O uso de fontes de energia renovável, e o consequente investimento na sua aplicação para produzir electricidade, calor ou biocombustíveis para transportes, têm vindo a aumentar rapidamente nos últimos anos, e espera-se que esta tendência se mantenha nas próximas décadas.

Ao nível da energia primária, e exceptuando o uso tradicional da biomassa, a quota mundial das energias renováveis aumentará de 7% em 2006 para 10% em 2030. Relativamente à produção de electricidade a partir de fontes renováveis, a sua quota passará de 18% em 2006 para 23% em 2030, ultrapassando gás natural e tornando-se na segunda maior fonte de produção de electricidade, já em 2015.

Esta evolução é favorecida por vários factores, nomeadamente a gradual diminuição dos custos à medida que a tecnologia amadurece, o aumento dos preços do petróleo e derivados e a existência de políticas de apoio à implementação de fontes de energia renovável. Assim, a indústria das energias renováveis tem a oportunidade de, nas próximas duas décadas, explorar este crescimento e desenvolver-se de modo a eliminar dependências de subsídios estatais e a trazer a tecnologia mais recente para o mercado.

O gráfico da figura 1.10 mostra a diminuição gradual, e em alguns casos acentuada como no solar fotovoltaico, dos custos de investimento de algumas tecnologias renováveis para a produção de electricidade (em € por kW de potência instalada).

Espera-se assim uma diminuição no custo da electricidade produzida por fontes renováveis, sendo que já a partir de 2015 se prevê um custo de produção entre 0,05 €/kWh e 0,25 €/kWh, para praticamente todas as fontes renováveis. A principal razão para tal ocorrência é a crescente utilização deste tipo de fontes, o que acelera o seu desenvolvimento tecnológico e aumenta a produção dos equipamentos em larga escala, resultando assim em menores custos de investimento e consequente redução dos custos de produção de electricidade. Na tabela 1.3 encontram-se os custos de produção de energia eléctrica em função da tecnologia.

Devido aos factos anteriores, espera-se que energia eléctrica produzida a partir de fontes de energia renovável, aumente consideravelmente, passando de 3470 TWh em 2006, para 4970 TWh em 2015 e atingindo 7705 TWh em 2030. Este aumento a nível global é mais substancial nos países da OCDE, onde a quota de renováveis na geração de electricidade aumentará dez pontos percentuais, chegando a 26% em 2030.
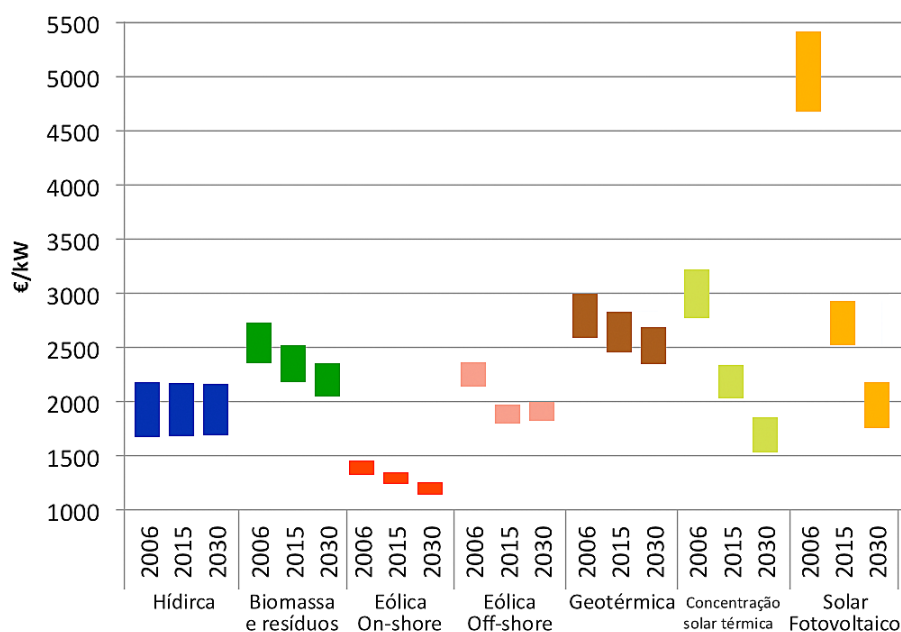
Figura 1.10: Projecção dos custos de investimento de várias fontes renováveis (em €/kW), para os anos de 2015 e 2030. [4]

Fontes de energia renovável	2006			2015			2030		
Hídrica	2,91	-	6,48	2,88	-	6,48	2,72	-	6,28
Biomassa e resíduos	2,43	-	7,15	2,24	-	5,71	2,05	-	5,03
Eólica on-shore	6,38	-	7,44	5,71	-	6,57	5,13	-	5,99
Eólica off-shore	7,25	-	8,40	5,99	-	6,86	5,80	-	6,76
Geotérmica	4,94	-	5,80	3,88	-	5,42	3,01	-	5,03
Concentração solar térmica	11,00	-	26,79	7,82	-	19,38	5,51	-	14,66
Solar fotovoltaico	23,71	-	49,62	12,74	-	26,79	8,62	-	18,61

Tabela 1.3: Projecção dos custos de produção de energia eléctrica (em cents€/kWh) de várias tecnologias renováveis, para os anos de 2015 e 2030. [4]

No período até 2015, grande parte do aumento na geração de electricidade será proveniente de fontes com custos de investimentos menores e tecnologias mais desenvolvidas, como é o caso da energia hídrica e da energia eólica em terra. O mesmo acontecerá entre 2015 e 2030, mas acompanhado de um aumento de tecnologias que entretanto se tornarão cada vez mais competitivas, como é o caso do solar fotovoltaico, da biomassa e da eólica no mar. Tais factos estão evidenciados no gráfico da figura 1.11.

Perante estas previsões, o investimento total nestas fontes de energia entre 2007 e 2030, rondará os 4,02 biliões de €. A maior parte do investimento, cerca de 60%, será destinado à produção de electricidade, enquanto 36% será para a produção de calor e 4% para o fabrico de biocombustíveis. Assim, o investimento nas energias renováveis para a produção de electricidade atingirá os 2,41 biliões de €, o que corresponderá a uma potência instalada adicional de 1617 GW.
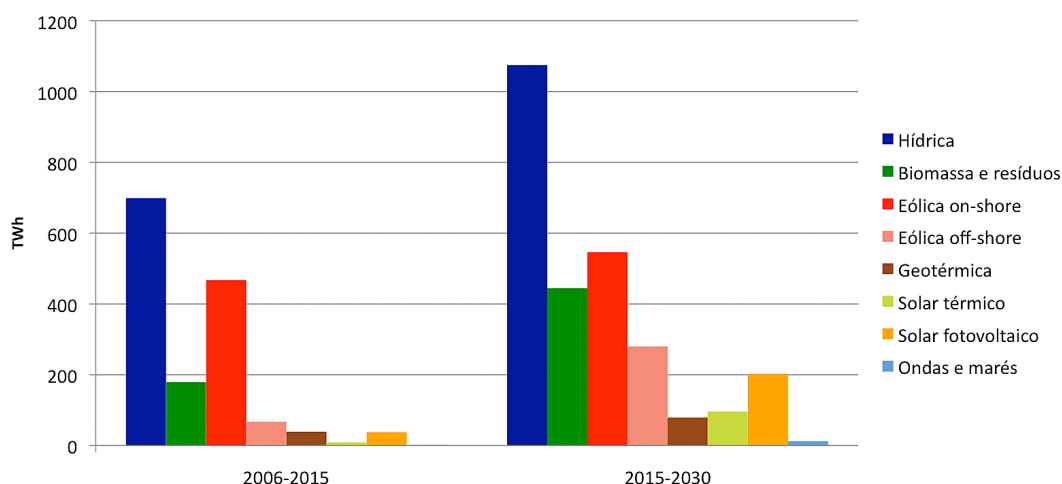
Figura 1.11: Previsão até 2030 do aumento da produção de electricidade a partir de fontes de energia renovável. [4]

1.2.4 Utilização de energia nas cidades

As cidades são uma parte dinâmica e vital da cultura global e uma dos principais motores de desenvolvimento social, económico e tecnológico. Segundo projecções das Nações Unidas, em 2030 as cidades terão 60% da população mundial, o que equivale à população mundial de 1986. A evolução da distribuição geográfica da população urbana a nível mundial está a mudar: enquanto se assistiu durante a primeira metade o século XX à urbanização mais intensa na Europa e América do Norte, actualmente e nas décadas seguintes será a Ásia que terá a maior expansão das cidades e áreas urbanas.

A escala e o modo como as cidades usam a energia tem um impacto e importância significativos não só na segurança e distribuição da energia, mas também nas emissões globais de gases causadores de efeito de estufa. Alertadas sobre as possíveis alterações climáticas, muitas autoridades locais (especialmente em países desenvolvidos) estão a tomar medidas para reduzir o consumo de energia e as emissões de CO_2, como a implementação de medidas de eficiência energética ou a integração de fontes de energia renovável no ambiente urbano.

Cerca de dois terços da energia primária mundial, uma estimativa de 7908 Mtep em 2006, é consumida nas cidades embora apenas metade da população viva em áreas urbanas. Os dados mostram que os residentes das cidades consomem mais carvão, gás e electricidade do que a média per capita a nível mundial. Assim, em 2006 as cidades foram responsáveis pela emissão de 19,8 Gt de CO_2, o que corresponde a 71% das emissões globais.

A tabela 1.4 mostra a evolução do consumo de energia e de electricidade nas cidades a nível mundial e em quatro regiões distintas e com importância global. É expectável um aumento do consumo de energia nas cidades, chegando a atingir 73% do total mundial em 2030.

Os números presentes na tabela 1.4 demonstram que as áreas urbanas terão uma importância cada vez maior no desenvolvimento dos países, necessitando assim de mais recursos energéticos. Face às previsões, a hipótese de produção descentralizada de electricidade em meio urbano com recurso a fontes renováveis, constitui um hipótese bastante credível, possível de ser implementada e que poderá

		2006		2015		2030		Crescimento
		Mtep	% do total	Mtep	% do total	Mtep	% do total	médio anual
Energia	Mundial	7908	67%	9785	69%	12374	73%	1,9%
	EUA	1865	80%	1996	83%	2229	87%	0,7%
	UE	1259	69%	1344	71%	1427	75%	0,5%
	China	1424	75%	2289	79%	3220	83%	3,5%
	Austrália e NZ	109	78%	124	79%	136	80%	0,9%
Electricidade	Mundial	1019	76%	1367	77%	1912	79%	2,7%
	EUA	227	86%	310	89%	376	93%	1,3%
	UE	176	73%	204	75%	245	79%	1,4%
	China	161	80%	314	80%	495	83%	4,8%
	Austrália e NZ	17	80%	20	82%	24	84%	1,4%

Tabela 1.4: Consumo de energia e de electricidade nas cidades, a nível mundial e para quatro zonas geográficas: EUA, UE, China e Austrália e Nova Zelândia. Dados reais para 2006 e previsões para 2015 e 2030. [4]

ser um dos contributos para colmatar a crescente procura de electricidade.

1.3 Fontes de energia renovável

Nesta secção serão abordadas algumas tecnologias renováveis, com o objectivo de expor o seu estado da arte, os custos e preços, o desenvolvimento do mercado e indústria e a política europeia associada à implantação deste tipo de fontes.

1.3.1 Solar fotovoltaico

A energia que chega do sol é sem dúvida um recurso que tem merecido cada vez mais atenção no sector das energias renováveis. A energia proveniente do sol e que atinge a superfície da Terra tem um valor médio de 1700 kWh/m^2 por ano, e o total anual é aproximadamente igual a 10000 vezes o consumo global de energia.

A tecnologia fotovoltaica consiste na geração de electricidade a partir da luz, quer seja radiação directa ou difusa. Para o efeito são usados semicondutores, sendo os de silício os mais comuns dado ser este componente bastante abundante na natureza. Contudo, o custo da sua purificação é bastante caro e acarreta elevados gastos de energia.

A energia fotovoltaica era de início essencialmente usada nos satélites. O primeiro pico de petróleo na década de 1970 desencadeou um esforço de desenvolvimento e investigação para diminuir os custos de produção dos painéis, de modo a que esta fonte de energia também contribuísse para colmatar as necessidades energéticas. Desde então, devido a importantes avanços tecnológicos, o preço dos módulos fotovoltaicos diminuiu por um factor superior a 20. [5]

Hoje em dia, o solar fotovoltaico já é uma aposta economicamente viável em locais isolados da rede eléctrica e existe um interesse crescente a nível mundial, no desenvolvimento e implementação de sistemas ligados à rede, sendo os edifícios um caso muito interessante. A colocação e integração de painéis fotovoltaicos em edifícios, quer sobre a cobertura, quer como elementos arquitectónicos,

possibilita baixar os custos da energia produzida, uma vez que os painéis podem passar a substituir a cobertura ou outros elementos dos edifícios.

Actualmente, a indústria de produção de células fotovoltaicas é dominada por grandes companhias internacionais, incluindo companhias de serviços e petrolíferas, existindo programas a nível nacional e internacional para desenvolver e promover a tecnologia fotovoltaica. A médio e longo prazo, as possibilidades para a geração de energia em larga escala, a partir do solar fotovoltaico, consideram-se como sendo bastante promissoras.

Estado da arte

As células fotovoltaicas são geralmente feitas de silício cristalino, ou de filmes finos depositados em finas camadas sobre um substrato. A maioria dos módulos produzidos, cerca de 90%, são feitos a partir de silício cristalino. No entanto, espera-se que a tecnologia de filme fino se torne dominante no mercado para edifícios, uma vez este tipo de módulos possuem vantagens como o peso menor, maior robustez e melhor aparência visual.

Os principais tipos de células fotovoltaicas e as suas características, segundo a European Photovoltaic Industry Association (EPIA)/Greenpeace (2005) [8] são:

- **Silício cristalino**: é o tipo de células mais comum presentes em módulos fotovoltaicos (podem ser em silício monocristalino ou policristalino), sendo largamente usados; a sua eficiência encontra-se entre 13% a 16%, atingindo-se 25% em laboratório.

- **Filmes finos**: actualmente, existem três tipos principais de filmes finos, que são os de silício amorfo, os de cobre índio diselénio ($CuInSe_2$), e os de cádmio telúrio (CdTe). Os filmes finos usam camadas de reduzida espessura de materiais foto-sensíveis, assentes sobre um substrato de baixo custo como vidro, aço ou plástico. As camadas têm uma espessura da ordem das décimas de micrómetro, sendo possível a sua manufactura em processo contínuo, o que permite a produção destes módulos em larga escala e a redução de custos de produção. Também têm a vantagem de as suas características de operação poderem ser facilmente modificadas durante o processo de fabrico através de mudanças relativamente simples.

- **Outros tipos**: existem outros tipos de células como concentradores, em que a luz é focada com recurso a um concentrador óptico (espelhos ou lentes de Fresnel), numa pequena área da célula fotovoltaica, requerendo assim menos células para produzir a mesma energia. No entanto, é necessário um seguimento solar preciso, e não é possível usar a totalidade da luz difusa. Em desenvolvimento, existem células feitas de materiais orgânicos que surgiram em 1991, mas que ainda possuem um baixa eficiência. Existe ainda a tecnologia esférica solar, que consiste em colocar pequenas esferas de silício sobre um substrato de alumínio, reduzindo os custos por usar menos silício.

Estes factos demonstram que ainda existe uma grande margem de progressão para a investigação e desenvolvimento associado à tecnologia solar fotovoltaica, de modo a haver uma variedade de opções que respondam às exigências de um mercado em crescimento.

Relativamente aos módulos, estes são geralmente constituídos pelas células fotovoltaicas ligadas entre si e selados debaixo de uma folha de vidro, tornando-os robustos, fiáveis e resistentes às condições meteorológicas. Existem também módulos flexíveis, nomeadamente filmes finos depositados sobre um substrato maleável.

Actualmente, o tempo de vida dos módulos fotovoltaicos encontra-se entre os 20 e os 25 anos. A nível global, a maioria das células produzidas para módulos são em silício cristalino, 38,3% são de silício monocristalino e 47,7% em silício policristalino [11], como se pode observar no gráfico da figura 1.12.
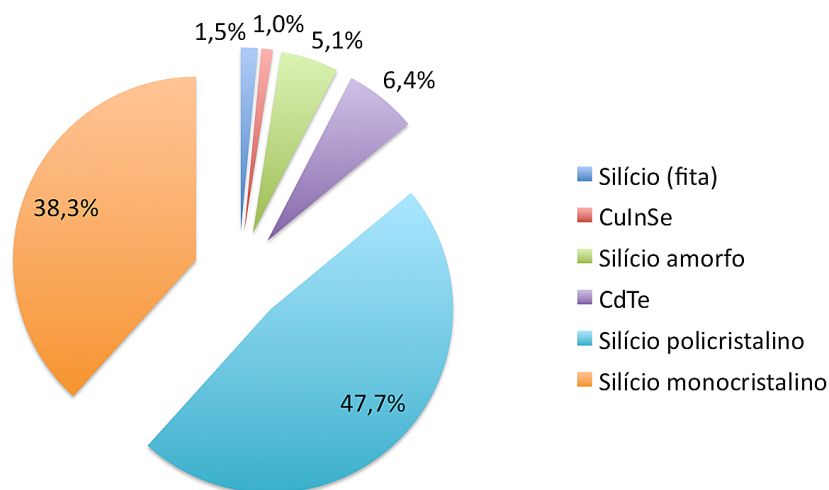
Figura 1.12: Quota de produção de células fotovoltaicas em 2008, conforme a tecnologia.

Os sistemas fotovoltaicos apresentam-se com as seguintes configurações:

- **Sistemas ligados à rede**: é o tipo de sistema fotovoltaico mais comum para habitações e escritórios nos países desenvolvidos. Estão ligados à rede eléctrica local, permitindo que toda ou apenas o excesso de energia produzida seja vendida à rede. Durante as horas em que não haja produção, a electricidade provem da rede. São usados inversores para, por um lado, converter a electricidade DC gerada pelos módulos em electricidade AC compatível com a rede local, e por outro para proteger os equipamentos da instabilidade da rede.

- **Sistemas isolados**: A maior parte destes sistemas usa baterias, tipicamente de chumbo e ácido, de forma a armazenar a energia excedente, a qual será usada quando a energia produzida não satisfaz as necessidades. Existe um regulador na bateria que a impede de ficar em sobrecarga ou descarregada. Estes sistemas são comuns em locais isolados, onde não é rentável a ligação à rede mais próxima do local.

- **Sistemas híbridos**: São sistemas combinados com outra fonte de energia, como um gerador a biomassa, uma turbina eólica ou um motor diesel, de modo a assegurar um fornecimento de energia constante. Normalmente estes sistemas estão isolados da rede eléctrica.

Investigação e desenvolvimento

Na União Europeia, a Comissão Europeia financia a investigação no sector fotovoltaico, sendo as principais áreas de investigação a médio e longo prazo, definidas pelo programa FP5 (European Union in the fifth Framework Programme):

- redução de custos e aumento da qualidade da matéria prima, nomeadamente, o silício;
- optimização das tecnologias de processamento de silício cristalino, em especial na eficiência e custos de produção de bolachas de silício;
- tecnologias de filme fino: produção eficiente em grande escala, e a compreensão das limitações do materiais de modo a reduzir custos;
- conceitos inovadores para células e módulos fotovoltaicos, com potencial para grandes reduções do custo (concentradores solares e novos materiais);
- investigação para redução do custo de novos componentes e sistemas.

Grande parte dos fundos deste programa foram destinados à investigação sobre células e módulos fotovoltaicos (71%), e o restante em sistemas e edifícios.

O programa FP5 durou até 2002, sendo continuado pelos programas FP6 e FP7. As suas principais prioridades são:

- inovação nos conceitos de produção de células de alta eficiência, a serem integradas em larga escalada (centrais de produção fotovoltaica), de modo a diminuir os custos por Wp;
- transferir para a indústria a nova geração de tecnologias e produtos fotovoltaicos, de modo a facilitar a integração de novas soluções com custos menores;
- desenvolvimento de módulos com grande área e baixo custo para integração em edifícios;
- conceitos inovadores e pesquisa em materiais para a próxima geração de tecnologia fotovoltaica (como células em material orgânico);
- tecnologia de filme fino (desenvolvimento de células e módulos com um custo menor, baseadas em novas ou melhoradas tecnologias e materiais);
- pesquisa de novas aplicações do fotovoltaico em edifícios e no ambiente urbano (por exemplo, desenvolvimento de sistemas integrados de módulos fotovoltaicos, vocacionados para uma fácil montagem em coberturas ou fachadas, e para integração em sistemas híbridos).

Assim, os grandes objectivos da investigação consistem na diminuição do custo do investimento dos sistemas fotovoltaicos para 1-2 €/Wp (com o custo dos módulos de 0,5-1 €/Wp) até 2015, e a redução do custo da electricidade produzida por estes sistemas para um valor inferior a 0,1 €/kWh em 2015. [5]

Na tabela 1.5 podem-se observar os orçamentos públicos em alguns países da UE e da OCDE, para a pesquisa e desenvolvimento desta fonte de energia [6], e que são essenciais para atingir os

objectivos já mencionados. Na Europa, a Alemanha surge claramente destacada, enquanto que no contexto mundial, o Japão, a Coreia do Sul e os Estados Unidos da América são os países que mais investem.

Países da UE	Milhões de €	Países da OCDE	Milhões de €
Alemanha	59,4	Austrália	4,20
Áustria	1,59	Canadá	1,56
Espanha	12	Coreia do Sul	35,92
França	12	EUA	83,3
Itália	5	Japão	24,33
Holanda	12	México	0,32
Suécia	3	Noruega	6,7
Reino Unido	14,8	Suíça	9,2

Tabela 1.5: Orçamento público anual de alguns países da UE e da OCDE, para investigação e desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica (ano de 2008).

A indústria fotovoltaica abrange muito mais do que apenas o fabrico de módulos, existindo um custo considerável nos componentes do sistema, como os inversores, baterias, reguladores de carga, estruturas, entre outros. Os custos de instalação e desenho, que podem variar de acordo com o tipo, tamanho e desenho do sistema, também têm um impacto nos custos da energia produzida. Tendo em conta estes factos, os principais desenvolvimentos futuros encontram-se descritos a seguir.

Os sistemas fotovoltaicos de pequena e média dimensão ligados a uma rede de baixa tensão (sistemas tipicamente de 200 Wp a centenas de kWp) podem ser divididos em sistemas para habitações, e para edifícios comerciais ou de escritórios. No primeiro caso em que o principal objectivo é obter um design funcional a um preço aceitável, espera-se o uso de elementos pré-frabricados ao nível dos telhados, a criação de kits fotovoltaicos, e uma melhor integração no processo de construção dos edifícios.

Nos edifícios públicos e comerciais os sistemas estão normalmente integrados nos edifícios, e os módulos fotovoltaicos para além de gerarem energia, servem como elementos arquitectónicos nas fachadas e telhados, podendo substituir o uso de materiais convencionais. Os módulos podem também contribuir para a criação de sombras, ou estar integrados em sistemas de ventilação. Nestes casos, são esperados desenvolvimentos futuros que contribuam para a redução de custos através de uma melhor integração no processo de construção dos edifícios.

No caso de centrais fotovoltaicas, isto é, sistemas maiores que algumas centenas de kWp, o principal objectivo é produzir energia limpa, fiável e a um custo baixo e competitivo. Espera-se o desenvolvimento de aplicações onde os módulos fotovoltaicos desempenhem uma segunda função com valor acrescentado, de modo a reduzir o custo efectivo da electricidade produzida. Exemplos de tais aplicações são barreiras sonoras nas auto-estradas e caminhos de ferro ou estruturas para fazer sombra em parques de estacionamento. Existe também uma margem de progressão no aperfeiçoamento de inversores e das ligações à rede.

Em sistemas isolados, usados preferencialmente em locais remotos, países em vias de desenvolvimento ou aplicações industriais, o maior objectivo consiste em reduzir o custo dos módulos e baterias, combinando uma integração total e optimizada dos componentes do sistema. No caso de sistema iso-

lados em zonas rurais, como se encontram longe das infra-estruturas de manutenção, é necessário que sejam bastantes fiáveis e que requeiram uma menor manutenção. É também importante uma balanço ideal entre custo e fiabilidade, dado que para este tipo de consumidor final o preço é um factor preponderante.

Custos e preços

Os elevados custos de investimento constituem, a curto e médio prazo, a maior barreira ao desenvolvimento do mercado fotovoltaico, embora se tenha observado uma tendência contínua de descida dos preços de sistemas fotovoltaicos. Esta descida dos preços das células e módulos fotovoltaicos, tem sido um factor crucial no desenvolvimento da tecnologia, tendo-se verificado um aumento de eficiência na produção de células, juntamente com o desenvolvimento de tecnologias mais baratas como a de filmes finos.

No entanto, os custos de operação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos são normalmente inferiores aos dos convencionais geradores de electricidade, fazendo com que actualmente sejam uma opção bastante rentável em locais distantes da rede eléctrica.

Os custos de fabrico de células e módulos fotovoltaicos têm vindo a cair de forma contínua. Em média, o preço dos módulos caiu 5% por ano, durante os últimos trinta anos e espera-se que continue a cair durante os próximos dez anos (ver figura 1.13).
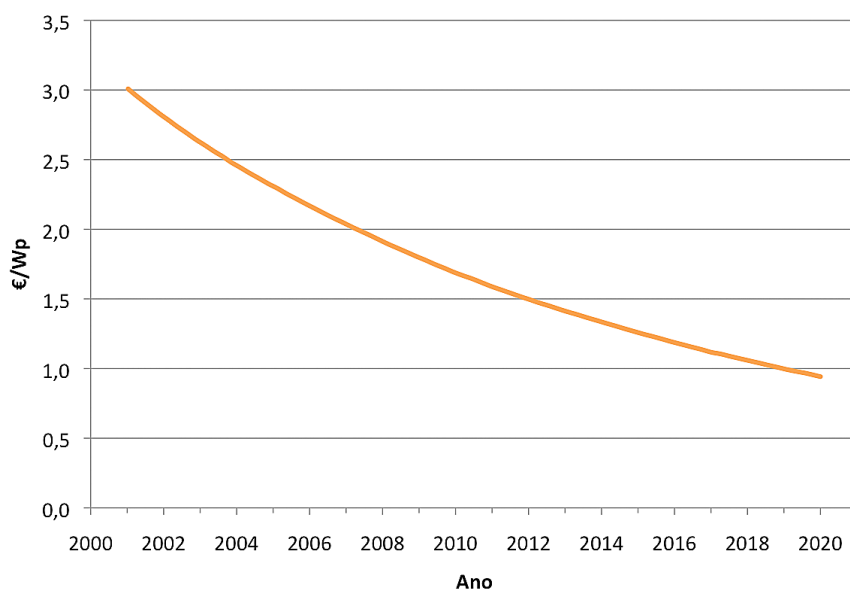
Figura 1.13: Evolução do preço dos módulos fotovoltaicos, em €/Wp, entre 2000 e 2020.

Segundo o estudo da EPIA/Greenpeace (2001) [7], o preço por Wp de produção de células diminuirá de 1,69 € em 2001 para um valor previsto de 1,12 € em 2010. Entre 2010 e 2020 espera-se que esse custo continue a diminuir. Quanto aos módulos, o seu custo de produção cairá um pouco mais de dois terços, isto é, de 3 €/Wp em 2001 para menos de 1 €/Wp em 2020, como se verifica na figura 1.13.

O mercado de sistemas ligados à rede poderá necessitar de programas de incentivo, mas esta situação tenderá a mudar à medida que o mercado se expande em todos os sectores e se torne auto-

sustentável. E como qualquer tecnologia, o desenvolvimento de uma curva de aprendizagem provoca a redução dos custos. No caso do sector fotovoltaico, é esperado uma redução dos custos de cerca de 20% cada vez que a capacidade instalada duplica, estando esta correlação demonstrada na figura 1.14.
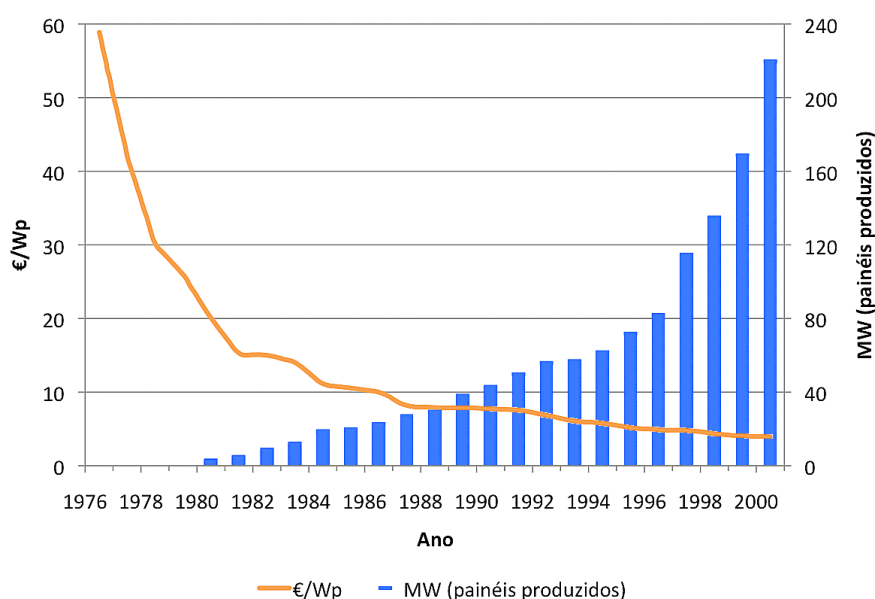
Figura 1.14: Correlação entre a queda dos preços dos sistemas fotovoltaicos (€/Wp), e o aumento da produção anual de sistemas (MW).

Os preços de sistemas fotovoltaicos dependem principalmente do custo dos módulos, mas também de outros factores, como a localização da instalação e o seu modo de integração, dimensão do projecto, ligação à rede e número de intermediários no fornecimento da energia, assim como das especificações e características do sistema e existência ou não de subsídios. Actualmente, o custo de investimento para sistemas típicos está entre 4 €/Wp e 8 €/Wp.

Como consequência da queda dos preços dos sistemas, o custo por kilowatt-hora da electricidade produzida, também tem vindo a decrescer. A evolução do custo da electricidade produzida por sistemas fotovoltaicos encontra-se exposta no gráfico da figura 1.15, onde se compara o custo da electricidade produzida por dois tipos de sistemas, com o preço da energia fornecida pela rede de distribuição de electricidade. [9] Claramente se constata que quanto mais energia produzida por potência instalada (como é o caso de sistemas instalados em zonas com mais horas de Sol), menor é o seu custo, e que já em 2020 se espera que o preço seja tão competitivo quanto o da electricidade fornecida pela rede eléctrica.

Quanto aos apoios e incentivos estatais para a utilização desta fonte de energia renovável, o mercado europeu é bastante heterogéneo, havendo diferenças consideráveis entres os vários estados. No entanto, podem-se distinguir dois tipos de esquemas de apoio: incentivo ao investimento, normalmente através de juros reduzidos ou subsídios e o apoio à produção de energia, habitualmente recorrendo a uma tarifa bonificada de venda da energia produzida.

Um bom exemplo do sucesso deste tipo de incentivos verifica-se na Alemanha, a qual é um dos principais protagonistas do mercado fotovoltaico europeu. Como resultado do programa 100000 te-
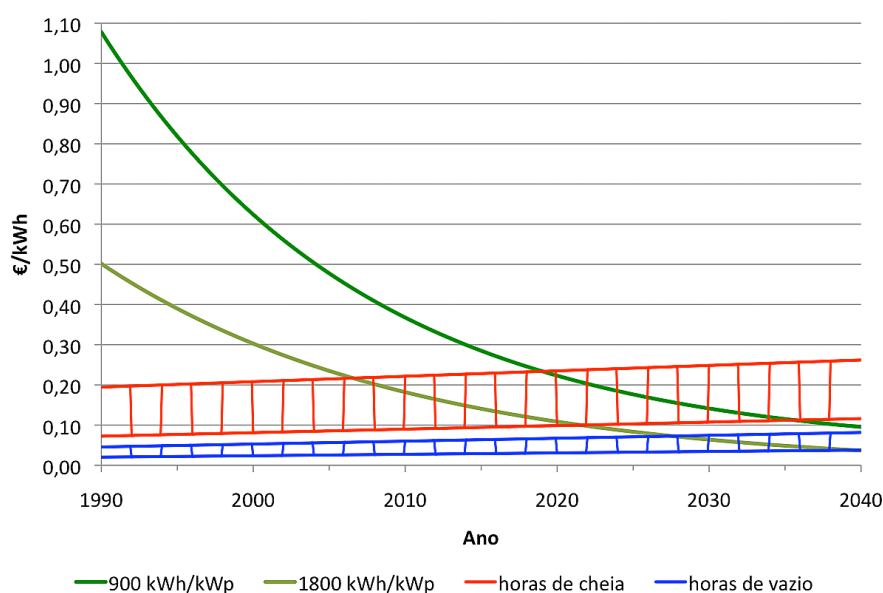
Figura 1.15: Competitividade do fotovoltaico entre 1990 e 2040 (previsão): comparação dos custos da electricidade gerada por sistemas fotovoltaicos, com a electricidade proveniente da rede de distribuição eléctrica.

lhados (*100,000 roofs programme*), que esteve em vigor até 2003, e que consistia num empréstimo com baixo juro garantido e sem pagamentos nos dois primeiros anos, e da Lei de Energia Renovável (*Renewable Energy Law*), introduzida em 2000, a qual impôs uma tarifa bonificada de 0,5 €/kWh ao longo do período de vida do sistema, verificou-se entre 2000 e 2005, um crescimento médio anual do mercado fotovoltaico que rondou os 100%. Graças a estes programas, a potência instalada anualmente aumentou constantemente, e foi por exemplo, de 40 MW em 2000, de 850 MW em 2005, e de 1500 MW em 2008, o que perfaz uma potência acumulada de 5,27 GW entre 1998 e 2008 [10]. Esta combinação de programas revelou ser um importante instrumento para o desenvolvimento do mercado fotovoltaico, potenciando a criação de emprego e o desenvolvimento tecnológico.

Indústria, emprego e mercado

O fabrico de células e módulos fotovoltaicos está actualmente concentrado em três grandes regiões: Europa, Ásia, e Estados Unidos da América. Em 2008, a produção de células fotovoltaicas aumentou 85% relativamente ao ano anterior e atingiu uma potência de 7,9 GW, sendo que os dez maiores fabricantes representam 46,2 % da produção mundial. [11] A China é o maior produtor mundial, com 32,7% da produção, seguindo-se a Alemanha com 18,5% e o Japão com 16,0%; a Ásia em conjunto com a Europa representam 93,9% da produção mundial. A industria fotovoltaica é das poucas indústrias com um crescimento anual tão elevado, e o seu potencial de desenvolvimento permanece bastante alto.

Em todo o processo, desde o fabrico à instalação e distribuição, passando obviamente pela pesquisa e investigação, existem inúmeras pessoas envolvidas. Estima-se que nos Estados Unidos sejam aproximadamente 15000 pessoas e só na Alemanha, foram registadas 7000 pessoas durante o ano de 2002. Em 2008, segundo a EPIA existiam 130 mil empregos directos na indústria fotovoltaica europeia e 60 mil empregos indirectos.

Serão criados mais empregos, na instalação e prestação de serviços a sistemas fotovoltaicos do que na sua manufactura. Com base na informação fornecida pela indústria, assume-se que até 2010 foram criados 20 empregos por MW de capacidade instalada, durante a manufactura, diminuindo para 10 empregos por MW entre 2010 e 2020. Cerca de 30 empregos por MW são criados durante o processo de distribuição, instalação e serviços até 2010, reduzindo-se esse número para 27 empregos por MW entre 2010 e 2020.

Quanto à manutenção, assume-se que nos países desenvolvidos, com estruturas de negócio mais eficientes e sistemas maiores, é criado um emprego por MW instalado. Nos países em vias de desenvolvimento, que terão um papel cada vez mais importante, serão criados 2 empregos por MW até 2020. Assim, estima-se que até 2020 serão criados 1,9 milhões de empregos a nível global, com um potencial de 3,2 milhões de empregos até 2025. [8]

1.3.2 Eólica

A energia do vento já é aproveitada desde as civilizações mais antigas, como no caso dos moinhos de vento utilizados para a moagem de alimentos. O modo como se obtém essa energia evoluiu imenso, desde os simples moinhos de moagem, passando pelos moinhos mais complexos da revolução industrial europeia, até às avançadas turbinas eólicas actuais.

Em 1939, a instalação de uma turbina eólica de 1,25 MW no estado de Vermont nos EUA, reuniu muitos cientistas e engenheiros e constitui um marco muito importante no desenvolvimento da tecnologia eólica. Desde então muitos desenhos de pás foram testados, vários materiais usados, as turbinas foram desenhadas com duas, três ou mais pás, operando a diferentes velocidades e usando diferentes sistemas de controlo. Actualmente, as turbinas de eixo horizontal com três pás são as mais comuns, e a sua potência nominal varia conforme as aplicações, e pode ir desde poucos watts até aos modelos recentes de 5 e 7 MW usados em grandes parques eólicos.

As áreas com potencial para a produção de energia eólica encontram-se dispersas pela Europa e pelo mundo, existindo zonas mais favorávies, como é o caso do centro e norte da Europa, especialmente nas zonas costeiras, o litoral e a zona centro da América do Norte, ou a zona sul da América do Sul. Existe também um grande recurso eólico nos mares ao largo da costa, sendo que as velocidades do vento medidas no mar, a 80 m de altura, são em média 90% superiores aos valores médios registados em terra. [12]

Embora a distribuição do vento não seja homogénea, estudos demonstram que tal facto não limita o uso da energia eólica como fonte fiável de electricidade: estima-se que os recursos eólicos a nível mundial, tecnicamente possíveis de serem aproveitados, sejam de 53 TWh/ano [13], o que corresponde a quase o dobro do consumo de electricidade global previsto para 2020.

Estado da arte e I&D

Uma turbina comum (acima de 150 kW) normalmente gera 690 V, e uma corrente AC de três fases, a qual é enviada para um transformador que se encontra ao lado da turbina ou dentro da torre, de modo a aumentar a tensão para um valor entre 10000 V e 30000 V. Segue-se a introdução dessa electricidade

na rede. A figura 1.16 mostra um esquema de uma típica turbina eólica de eixo horizontal, com potência da ordem dos MW, composta por um rotor de três pás, a cabine com os instrumentos mecânicos e de controlo, e a torre. As pás do rotor movimentam-se por acção do vento frontal, e o gerador contido na cabine transforma a energia mecânica deste movimento de rotação em energia eléctrica. Um controlo automatizado em tempo real permite à cabine girar para que o rotor esteja sempre face ao vento. As próprias pás ajustam permanentemente a sua inclinação para maximizar a energia captada.

Também existem pequenas turbinas eólicas, com potências entre alguns watts até 100 kW, usadas na produção electricidade em locais isolados ou para microgeração em áreas urbanas. A procura por este tipo de turbinas, conjugada com a subida dos custos dos combustíveis convencionais, promove o desenvolvimento e a melhoria de custos desta tecnologia, sendo que o mercado das pequenas turbinas possui um grande potencial de expansão.

Figura 1.16: Esquema de uma turbina eólica de eixo horizontal.

Embora o desenho mais comum seja a turbina de eixo horizontal com três pás, outros desenhos continuam a ser desenvolvidos e melhorados, como é o caso das turbinas de eixo vertical, as quais possuem as vantagens de tolerarem melhor mudanças de direcção do vento ou turbulência, e permitem uma melhor integração em zonas habitadas.

O tempo de vida de uma turbina eólica é de 20 a 25 anos. Actualmente, as maiores turbinas de eixo horizontal têm rotores com diâmetro de 126 m e uma potência de 7 MW, o que demonstra uma evolução notável desde 1995 quando as turbinas tinham 60 m de diâmetro e uma potência de 1,3 MW. Isto implica cerca de cinco vezes mais potência e uma duplicação do diâmetro do rotor. Todavia, continuam a ser estudados melhoramentos de modo a ser possível extrair cada vez mais energia. Estes melhoramentos incluem rotores mais potentes, maiores pás, aperfeiçoamentos na electrónica, melhores materiais compósitos e torres mais leves. [5] Em desenvolvimentos encontram-se turbinas eólicas com potência entre 8 e 10 MW, com rotores até 160 m.

Ao nível da investigação e desenvolvimento, a Comissão Europeia financia através do programa FP7 vários projectos nas seguintes áreas:

- teste de sistemas, incluindo as próprias turbinas, e a sua integração na rede eléctrica, estudando os efeitos da variabilidade na produção de electricidade;

- desenvolvimento e optimização do desenho de sistema eólicos, para aumentar a eficiência na produção de energia;

- estudo de novas ferramentas e conceitos para operação e manutenção de parques eólicos;

- previsão, modelação e medição do vento e de outros dados meteorológicas associados, de modo a avaliar o potencial deste recurso;

- estudo dos impactos socio-económicos e ambientais;
- aperfeiçoamento da tecnologia para o aproveitamento do vento em locais como o mar, terrenos com relevo acidentado e áreas isoladas.

Custos e preços

O custo do investimento em parques eólicos situados em terra é maioritariamente dominado pelo custo da turbina. O custo de investimento médio na Europa é cerca de 1230 €/kWh, incluindo todos os custos adicionais para fundações, instalação eléctrica e estudos associados. Os principais custos dividem-se segundo as seguintes percentagens: 76% para a turbina eólica, 9% para a ligação à rede eléctrica, 7% para fundações e os restantes 8% devem-se sobretudo a sistemas de controlo, custos do terreno de implantação, custos financeiros e estudos.

Assim, dependendo do país e das condições do local de instalação os custos de investimento variaram entre 1000 €/kW e 1350 €/kW em 2008. [14] A Comissão Europeia prevê que os custos de investimento diminuam para 935 €/kW em 2020 e para 788 €/kW em 2030, numa perspectiva de longo prazo em que existe um equilíbrio entre a procura e a oferta desta tecnologia. [15]

A eficiência na produção de electricidade tem vindo a aumentar, devido especialmente ao melhor desenho dos equipamentos. Desde 1980 até 2004, o valor do investimentos por área varrida pelo rotor desceu a uma média superior a 2% por ano. No entanto, em 2006, os custos de investimento subiram 20% relativamente ao ano de 2004, devido ao grande aumento global da procura de turbinas, combinado com a subida dos preços de matérias primas.

Actualmente, o preço da electricidade produzida por uma turbina de 2 MW varia entre 0,053 €/kWh e 0,061 €/kWh, dependendo do recurso eólico disponível no local de produção. Prevê-se uma descida dos preços de produção para valores entre 0,043 €/kWh e 0,055 €/kWh, em 2015.

Quanto a parques eólicos localizados no mar, estes representam cerca de 1% da potência instalada a nível mundial e encontram-se sobretudo na Europa, nomeadamente no Mar do Norte e no Mar Báltico. Os custos de investimento variam entre 2000 €/kW e 2200 €/kW para parque eólicos perto da costa e em águas pouco profundas (a não mais de 20 km da costa e a menos de 30 m de profundidade). O valor de investimento mais elevado quando comparado com parque eólicos em terra, deve-se a fundações mais dispendiosas e à necessidade de instalar cabos eléctricos submarinos. O preço da electricidade gerada em turbinas eólicas no mar varia entre 0,06 €/kWh e 0,08 €/kWh.

Indústria, emprego e mercado

A indústria e o mercado da energia eólica tiveram uma rápida expansão na última década. Entre 1998 e 2008 a potência eólica instalada e nível global, teve um crescimento médio anual de 29%, passando de 10,2 GW para 120,8 GW. Os países da União Europeia contribuíram imenso para este crescimento, sendo que neste período de tempo, a Europa representou em média 68% da potência eólica instalada global.

Em 2008 a potência eólica instalada na União Europeia era de 64,9 GW, o que corresponde a 8,1% de todo o sector eléctrico. No ano de 2007, a produção de electricidade a partir desta fonte renovável

foi de 119 TWh, dos quais 4 TWh a partir de turbinas no mar, equivalendo a 3,7% do consumo europeu de electricidade. Evitou-se assim a emissão de cerca de 70 Mt de CO_2.

A aprovação em 2001 de uma directiva europeia para a promoção da electricidade gerada por fontes renováveis foi uma das medidas responsável por este crescimento. Possibilitou o desenvolvimento da indústria europeia, desde pequenas empresas a nível local ou nacional, até grandes fabricantes de turbinas de elevada potência (da ordem dos MW) e tornou o mercado europeu muito competitivo.

A Europa lidera a indústria eólica a nível global, sendo sete dos dez maiores fabricantes de turbinas eólicas empresas europeias. Em conjunto, as empresas europeias têm uma quota de cerca de 75% do mercado global de produção de turbinas eólicas. [14]

Quanto à criação de emprego, este não se encontra apenas na área da energia eólica, mas também noutros sectores indirectamente relacionados como na indústria do aço, aeronáutica e consultoria. Estima-se que na Europa em 2008, foi de 155 mil o total de postos de trabalho directos e indirectos associados a este sector. A maioria dos empregos criados (cerca de 59%), são no fabrico e montagem das turbinas e dos seus componentes, enquanto os restantes se distribuem pelo desenvolvimento e investigação, instalação, operação, manutenção e estudos.

Os vários cenários futuros apontam para o aumento da implementação desta tecnologia. Segundo a Associação Europeia de Energia Eólica, prevê-se que em 2020 o total de potência eólica instalada na Europa seja de 230 GW, dos quais 40 GW em turbinas no mar, ou seja, 17,4% da potência eólica total. Isto significa um aumento médio anual de 11,4% da potência instalada, esperando-se que em 2020 a produção de electricidade ascenda aos 582 TWh, o que representa 16,9% da electricidade consumida na União Europeia. [15] Se estas metas forem atingidas, o número de postos de trabalho relacionados com este sector poderá ascender aos 446 mil.

1.3.3 Solar térmico

A tecnologia solar térmica consiste na transformação da radiação solar em calor ou frio utilizável. Embora a Terra receba aproximadamente 10000 vezes mais energia solar do que toda a energia primaria mundial consumida anualmente, existem factores técnicos e sócio-economicos a restringir o uso do solar térmico. Exemplo disso é a diferença registada entre o input e o output de energia: a radiação solar é maior no verão mas as necessidades de calor são superiores no inverno. A excepção é a utilização relacionada com a refrigeração, onde a época de maior consumo coincide com a de maior produção. Outra restrição é que a maior parte da energia solar térmica tem de ser produzida no local onde é utilizada, com excepção das centrais de produção de electricidade a partir desta fonte. A latitude é também um factor importante uma vez que os países com latitudes mais elevadas, e por isso com maiores necessidades de aquecimento, precisam de áreas de colectores superiores aos países com latitudes menores. Na tabela 1.6 pode-se observar o potencial técnico e económico do solar térmico em alguns países da União Europeia. [5]

Assim, a estimativa para o potencial técnico total é de 1,4 biliões de m^2 de área de colectores, resultando numa produção anual de 682 TWh ou 58,7 Mtep. Estas estimativas foram obtidas numa visão a longo prazo, assumindo que o potencial dos sectores residencial e de serviços é totalmente preenchido,

País	População	Potencial por 1000 habitantes (m^2)	Potencial absoluto (m^2)	Produção anual de energia GWh	Mtep
Alemanha	82.193.000	3900	320.552.700	130.607	11,2
Áustria	8.121.000	3900	31.671.900	11.193	1,0
Espanha	39.490.000	2700	106.623.000	64.448	5,5
França	59.521.000	3900	232.131.900	139.279	12,0
Itália	57.844.000	3300	190.885.200	116.543	10,0
Holanda	15.983.000	3900	62.333.700	26.180	2,3
Suécia	8.883.000	6300	55.962.900	16.849	1,4
Portugal	10.023.000	2700	27.062.100	16.237	1,4
Reino Unido	59.823.000	3900	233.309.700	102.196	8,8
União Europeia	377.499.000	3770	1.412.037.300	682.149	58,7

Tabela 1.6: Potencial técnico e económico para o desenvolvimento do solar térmico na União Europeia.

que os sistemas de arrefecimento baseados em solar térmico estarão em fase de comercialização, e que e solar térmico será amplamente usado para a produção de calor, especialmente nos países do sul da Europa.

Estado da arte e I&D

No inicio do século XX, foi construído na Califórnia o primeiro sistema para aquecimento de água. Contudo, os colectores solares só começaram a ser desenvolvidos depois de 1950. Na Europa, o uso desta tecnologia foi despoletada pelo primeiro pico do petróleo nos anos 1970. Todavia nessa altura muitos sistemas eram de fraca qualidade ou tinham defeitos na sua instalação.

A partir de 1990 iniciou-se um desenvolvimento industrial mais incisivo, tornando o sector mais profissional e moderno. Foram feitos esforços ao nível da pesquisa, desenvolvimentos e design. Hoje em dia, os sistemas de solar térmico já são economicamente viáveis, de elevada qualidade e têm diversas aplicações.

O funcionamento dos colectores solares baseia-se na concentração da luz num fluido térmico que circula em tubos que se encontram no colector, sendo que em alguns sistemas a luz solar aquece directamente a água que é utilizada. A aplicação mais comum é o aquecimento de água no sector doméstico sendo tais sistemas constituídos por um colector, um depósito de água e um circuito que liga os vários componentes. O calor é removido do colector através do circuito de ligação, o qual pode funcionar usando um termo-sifão ou através de circulação forçada usando uma bomba.

Para além do aquecimento de água nas habitações, que representa cerca de 90% do mercado, o solar térmico começa também a ser utilizado no aquecimento ambiente. Outras utilizações desta tecnologia incluem o aquecimento de água em piscinas, ar condicionado e arrefecimento, dessalinização de água, processos industriais de aquecimento, entre outros.

Nos últimos 20 anos a tecnologia tem beneficiando de um progresso substancial, resultando em maiores eficiências, redução de custos, maior fiabilidade dos colectores, controlos e depósitos. Como o mercado se encontra em crescimento, existe certamente um grande potencial para o aperfeiçoamento dos componentes do sistema, esperamdo-se alguns desenvolvimentos futuros nas seguintes áreas de

investigação:

- **Arrefecimento solar**: sistemas de ar condicionado e arrefecimento solar já estão disponíveis no mercado, mas são precisas melhorias técnicas para alcançar uma comercialização em larga escala, especialmente em sistemas de menor potência. A curto e médio prazo, os sistemas de ar condicionado auxiliados pelo solar térmico serão uma mais valia, dado que o pico de procura por arrefecimento coincide com o período diurno de maior radiação solar.

- **Armazenamento de calor**: o armazenamento sazonal de calor com custos competitivos, permitirá usar o calor produzido em excesso durante o verão, de modo a fazer face à maior procura por calor no inverno. Projectos de demonstração mostraram bons resultados, esperando-se que a comercialização desta tecnologia venha a aumentar o potencial económico do solar térmico.

- **Dessalinização solar**: já existem sistemas comerciais, embora sejam muito caros nomeadamene para os sectores de maior procura, tais como os países em vias de desenvolvimento. A investigação e desenvolvimento com o objectivo de reduzir custos possibilitará o uso desta tecnologia a nível global.

Custos e preços

A energia solar térmica tem como principal concorrente os sistemas de aquecimento convencionais cuja fonte de energia são os combustíveis fósseis ou a electricidade. Apesar dos custos de investimento serem superiores, os custos de manutenção são reduzidos, representando apenas 1% dos custos de investimento.

O custo de um sistema solar de aquecimento de água dimensionado para uma família varia entre os 700 € e os 5000 €. O preço mais baixo representa um sistema simples com 2 m^2 de colectores situado nos países mais a sul da Europa, enquanto que o valor mais elevado é para 5 m^2 de colectores em países mais a norte. Em termos industriais, onde a área dos colectores ascende às centenas de m^2, o custo é de aproximadamente 250 €/m^2.

Os sistemas solares térmicos modernos e de boa qualidade têm uma vida média de 20 a 25 anos, requerem muito pouca manutenção, sendo que para sistemas bem localizados e instalados o custo do calor produzido varia entre 0,03 €/kWh e 0,09 €/kWh. [5] Como exemplo, um sistema de aquecimento de água com 5 m^2 de colectores no norte e centro da Europa com circulação forçada e um reservatório de 300 L, tem um custo de investimento de 4500 €, permitindo uma poupança anual de 3300 kWh em aquecimento e um custo para o consumidor de 0,11 €/kWh. Em países do sul da Europa um sistema com 2,4 m^2 de colectores, com termo-sifão e um depósito de 150 L, representa um investimento de 708 € com ganhos anuais de 1200 kWh e um custo para o consumidor de 0,06 €/kWh.

Quanto à evolução dos preços dos colectores a nível europeu, estes desceram 15% em termos nominais no período entre 1995 e 2002, ou cerca de 30% em termos reais incluindo a inflação. As principais razões para esta descida nos preços são melhoramentos na tecnologia de produção, o desenvolvimento de estruturas de mercado mais avançadas e uma economia de escala.

Actualmente são vários os incentivos públicos para o uso do solar térmico como a dedução dos custos de investimento nos impostos. Têm sido criados regulamentos em alguns países que obrigam a instalação de painéis solares térmicos nos edifícios novos e requalificados, ou com a instalação conjunta de outras fontes de energia renovável.

Indústria, emprego e mercado

Inicialmente o solar térmico era um produto de nicho com um mercado pequeno, em que é habitual os produtores venderem directamente a instaladores e consumidores. Alguns países europeus ainda se encontram nesta fase. Em mercados mais desenvolvidos, como caso da Alemanha, o solar térmico está a tornar-se num produto comum onde grandes empresas ligadas aos sectores do aquecimento e construção civil começaram a oferecer os sistemas solares térmicos como parte da sua gama de produtos standard, contribuindo para a difusão desta tecnologia.

Ao nível da produção, a actual estrutura produtiva é heterogénea. Existem componentes que são fabricados por poucas empresas operando à escala europeia ou mundial. A montagem dos colectores é realizada em grandes fábricas com linhas de produção automáticas, embora também existam pequenas empresas focalizadas para vendas à escala nacional ou mesmo regional.

A União Europeia representa cerca de 17% da produção mundial de colectores, enquanto dois terços da produção está sediada na China que tem uma produção maioritariamente orientada para o seu mercado interno. Países como Israel, Turquia, Austrália, Japão, Índia, e EUA têm também uma indústria significativa a nível nacional, com um grande potencial de crescimento. É de salientar que os produtos europeus são de grande qualidade e alto rendimento, sendo as companhias europeias responsáveis por grande parte dos desenvolvimentos desta tecnologia.

O mercado europeu do solar térmico tem crescido na última década, como mostra o gráfico da figura 1.17. Em 2008 cresceu 60%, atingindo 4,75 milhões de m^2 de área de colectores, o que equivale a uma potência instalada de 3,3 GW, e representa uma média de 38 kW por 1000 habitantes (ou 54 m^2 de colectores por 1000 habitantes). Embora a maior contribuição tenha vindo do mercado alemão, que mais que duplicou a sua capacidade instalada, a procura por esta tecnologia também cresceu em mercados mais pequenos.

O solar térmico tem também contribuído para a criação de empregos e desenvolvimento económico. Algumas centenas de companhias europeias estão dedicadas à produção e distribuição dos sistemas solares térmicos, bem como dos seus componentes. A capacidade varia entre empresas mais pequenas até fabricas com mais de 200 empregados. Para além destes empregos, o solar térmico é também responsável por criação de empregos ao nível da instalação e manutenção.

Em 2001 havia 16000 empregos a tempo inteiro directamente relacionados com esta fonte de energia. Aproximadamente um terço destes empregos corresponde ao sector fabril, quase dois terços ao design e instalação e os restantes à área de serviços, testes e consultoria. Assim, existem aproximadamente 11 empregos a tempo inteiro por cada 1000 m^2 de colectores instalados.

Quanto à evolução do número de empregados na Europa, estima-se que sejam 30000 em 2010, 120000 em 2020, 580000 em 2030 e que diminuam para 350000 em 2040. Este decréscimo é esperado
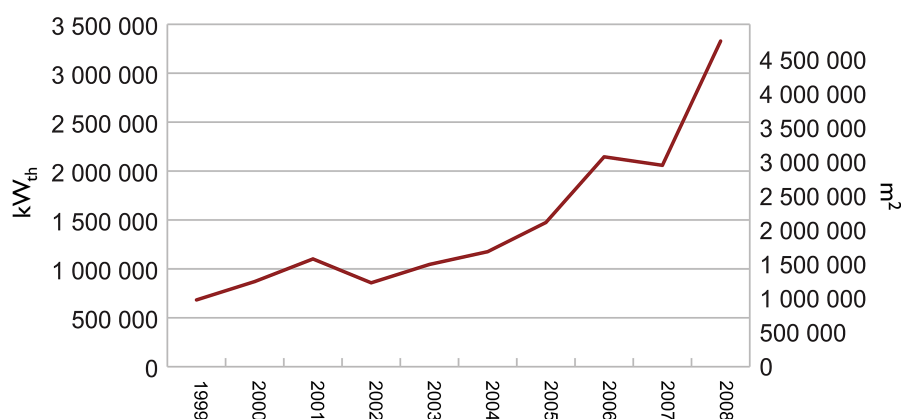
Figura 1.17: Evolução do mercado do solar térmico na EU-27 e Suiça (área de colectores e potência instalada), entre 1999 e 2008. [16]

uma vez que entre 2030 e 2040 o potencial técnico e económico será alcançado e o mercado irá abrandar, sendo que a partir dessa altura o modelo de negócio dominante será a substituição dos sistemas antigos.

1.3.4 Mini-hídrica

A energia hídrica começou a ser usada nas azenhas, sobretudo para moer cereais. Contudo, os grandes desenvolvimentos ocorreram no século XIX e desde então esta fonte de energia tem-se tornado mais eficiente.

A primeira turbina foi desenhada em 1827 pelo engenheiro francês Benoît Fourneyron que mais tarde, devido a desenvolvimentos introduzidos por outros países europeus, veio dar origem à turbina Francis. Entretanto, o americano Lester Pelton desenvolveu a turbina Pelton em 1850. Posteriormente, em 1912, Vítor Kaplan apresentou a turbina Kaplan, desenhada para elevados caudais de água. Durante o século XX, muitos outros desenvolvimentos foram feitos nesta área, nomeadamente a criação de outras turbinas e melhoramentos na turbina Kaplan.

A eficiência das turbinas atinge os 96% para turbinas de grandes dimensões do tipo Francis. A mini-hídrica corresponde a centrais hidroeléctricas cuja potência instalada é inferior a 10 MW, sendo precisamente esse tipo de centrais que serão abordadas nas seguintes secções. Neste sector, a eficiência encontra-se entre os 90% e os 92%.

Uma típica instalação de pequena hídrica é composta por uma ou mais turbinas dentro de uma estrutura de abrigo, que normalmente se encontra ligada à margem de um curso de água, e que também contém todo equipamento eléctrico associado à central. Os principais requisitos para a instalação de uma mini-hídrica são uma bacia hidrográfica capaz de reter as águas pluviais, um desnível adequado entre a entrada de água e a saída, a existência de condutas de admissão de água até às turbinas bem como para retornar a água ao seu percurso natural, e uma ligação à rede eléctrica.

Estado da arte e I&D

As centrais mini-hídricas tiram partido de cursos de água de rios ou ribeiras, convertendo a sua energia cinética e pressão em electricidade, através do movimento de uma turbina. As centrais são construídas prioritariamente em desnivelamento de terreno, de forma a aproveitar quedas de água, mas por vezes é necessário criar ou acentuar esse desnivelamento artificialmente.

Existem dois tipos de turbinas que são adequadas a diferentes tipos de alturas de queda de água e de caudal: são elas as turbinas de impulso e as turbinas reactivas. As turbinas de impulso como as Pelton têm um desenho de pás que possibilita inverter a direcção do jacto de água, extraindo assim o máximo de momento do fluxo de água incidente e fazendo com que esta deixe a turbina com muito pouca velocidade. As turbinas reactivas como as Francis e Kaplan, operam cheias de água resultando em diferentes pressões no fluido à medida que este percorre a turbina, o que provoca o movimento das hélices.

As principais vantagens da mini-hídrica são:

- grande eficiência e contribuição importante para as necessidades energéticas sem esgotar ou alterar o recurso natural, e com pouco impacto ambiental;
- fonte de energia segura, fiável e sustentável, sendo possível gerar electricidade instantaneamente e independente do período do dia;
- produção de energia limpa e renovável pois não envolve a emissão de poluentes.

Produzem algum impacto ambiental apenas ao nível da sua construção e infra-estrutura. Mas, como qualquer estrutura artificial, os seus impactos podem ser minimizados com o recurso a medidas simples: construir a estrutura de abrigo de acordo com a arquitectura e materiais locais, manter o fluxo do curso de água adequado, construir passagens bi-direccionais para a fauna aquática e a limpeza da biomassa e sedimentos que se podem acumular de modo a garantir uma boa qualidade da água.

Actualmente, os principais desafios da mini-hídrica estão relacionados com a economia e a ecologia. Esta fonte de energia pode continuar a ser desenvolvida com sucesso, desde que produza electricidade com preços competitivos e respeitando ao mesmo tempo o ambiente. Embora esta tecnologia já exista há bastante tempo, e tendo atingido uma considerável expansão no mercado das energias renováveis, continua a ser necessário o investimento na investigação e desenvolvimento por forma a se atingirem objectivos essenciais, como uma maior eficiência dos sistemas, equipamentos mais económicos e métodos de construção e integração com ainda menor impacto ambiental. Assim, esperam-se importantes desenvolvimentos desta tecnologia, ao nível dos seguintes aspectos [5]:

- Questões ambientais e de segurança têm maior importância no desenho das centrais, sendo requerido que haja um certo fluxo de água para não secar o leito a jusante. O controlo e a monitorização remota têm-se tornado cada vez mais comuns.
- Introdução de novos materiais compósitos e estruturas pré fabricadas na construção das centrais, de modo a reduzir custos. Condutas de admissão de água fabricadas em novos materiais, como vários tipos de plástico ou fibra de vidro, estão a ser introduzidos no mercado.

- Desenvolvimento e aperfeiçoamento de turbinas que sejam mais eficientes para pequenas quedas de água. Existem projectos com turbinas semi-Kaplan de modo a eliminar a necessidade de caixas de engrenagens entre a turbina e o gerador.

- Novos métodos para reduzir os custos de operação e manutenção, nomeadamente através do controlo remoto das centrais ou do uso de geradores e equipamento eléctrico mais eficientes.

De referir que bastantes programas de I&D têm sido financiados pela Comissão Europeia através dos sucessivos FP (Framework Programme).

Custos e preços

Os custos de investimento na construção de uma central de mini-hídrica dependem de inúmeros factores, tais como: a altura da queda de água, o caudal do curso de água e se este varia consideravelmente ao longo do ano, características geológicas e geográficas, tipo de equipamento (como turbinas e geradores) e trabalhos de engenharia civil. Para além destes custos, existem outros a ter em conta, como taxas sobre o uso de água ou os custos administrativos associados ao licenciamento destas centrais.

Quanto ao custo da electricidade produzida, este inclui custos de operação e de manutenção, taxas e impostos, e por isso varia consoante o país em que as centrais estão instaladas. Na tabela 1.7 estão presentes os custos de investimento e da electricidade produzida por centrais de mini-hídrica, para alguns países europeus.

País	Custo médio de produção (cents€/kWh)	Custos de investimento (€/kW)
Alemanha	5	4000 - 6000
Áustria	3,6 - 14,5	2900 - 4300
Espanha	3,5 - 7	1000 - 1500
França	-	1200 - 3000
Itália	5 - 10	1500 - 3000
Noruega	1,5 - 2	1000 - 1500
Suécia	4 - 5	1500 - 2500
Portugal	-	1300 - 2500
Reino Unido	5 - 7	2000 - 4800

Tabela 1.7: Custos de investimento e da electricidade produzida por centrais mini-hídrica, em alguns países europeus. [17]

Assim, ao nível europeu os custos de produção de electricidade variam entre 4 e 15 cents€/kWh, e o custo médio de investimento situa-se entre 1200 e 3500 €/kW. Quanto à manutenção e operação, estas representam cerca de 5% dos custos de produção de electricidade, e o tempo típico de retorno do investimento varia entre 10 e 25 anos (baseado numa taxa anual de actualização de 5%). [5]

Indústria, emprego e mercado

A industria europeia tem mantido uma posição dominante no campo da produção de equipamentos para centrais de mini-hídrica, desde que a tecnologia se começou a desenvolver à cerca de 150 anos. Poucos equipamentos estrangeiros tem sido instalados em centrais europeias, e uma razão importante para este domínio europeu é o seu mercado bastante forte e competitivo. Ao desenvolver a tecnologia e os métodos de produção num mercado em rápido crescimento, a indústria europeia tem estado na vanguarda do sector quando comparado com outros produtores não europeus.

A Europa possui uma indústria de mini-hídrica multi-disciplinar e altamente qualificada, que oferece um conjunto completo de produtos e serviços necessários ao desenvolvimento de projectos, desde os estudos iniciais de avaliação, projecto e desenho, passando pela construção dos equipamentos, financiamento e operação das centrais.

Em termos de emprego, as estatísticas do ano de 2002 contabilizavam cerca de 2200 postos de trabalho directos no sector a nível europeu. Este número inclui a produção de equipamentos (cerca de 1200 empregos) e o desenvolvimento e consultoria (cerca de 1000 empregos). Existem também cerca de 4000 empregos indirectos, totalizando assim 6200 empregos relacionados com este sector.

Estimativas mais recentes afirmam que o número de empregos directos e indirectos na área da mini-hídrica ascende aos 20000 postos de trabalho na Europa. A futura criação de empregos no sector está sobretudo dependente de factores legais, administrativos e ambientais aquando do desenvolvimento das centrais. No entanto o total de empregos poderá chegar a 28000 em 2020 se as condições forem favoráveis.

A contribuição da mini-hídrica na capacidade instalada a nível mundial é de cerca de 2%, com um total de 61 GW, sendo o continente asiático aquele que possui maior potência instalada com cerca de 42 GW. A Europa está em segundo lugar neste aspecto, com cerca de 12,5 GW de potência instalada em aproximadamente 17400 centrais de mini-hídirca, sendo a média de potência por central de 0,7 MW nos países da Europa ocidental e de 0,3 MW nos países da Europa do leste. Cerca de 86% da capacidade instalada encontra-se em apenas 8 países europeus, nomeadamente Alemanha, Áustria, França, Espanha, Itália, Noruega, Suíça e Suécia. [17]

As centrais de mini-hídrica europeias têm uma média de idade bastante elevada, onde quase 45% tem mais de 60 anos e 68% mais de 40 anos. Este facto abre a possibilidade da exploração de um mercado orientado para os serviços, renovação e modernização de materiais e equipamentos e que poderá ser aproveitado pelas empresas europeias. A curto e médio prazo espera-se também o desenvolvimento de mercados que procurem a instalação de novas centrais, nomeadamente países em que se prevê uma crescente procura por electricidade, nomeadamente a China e a Índia e alguns países da América do Sul e da África para a electrificação de zonas rurais.

A electricidade produzida por esta fonte foi 50,9 TWh em 2004, no conjunto dos 27 países da União Europeia, juntamente com a Suíça, Noruega e Turquia. Estima-se que o potencial economicamente viável e que ainda não se encontra explorado, pode ascender aos 54 TWh/ano somente no continente europeu. [18]

1.3.5 Política europeia

A crise energética na década de 70, potenciou o início do desenvolvimento de programas de utilização de energias renováveis nos países desenvolvidos. Em 1997, a Comissão Europeia publicou o comunicado COM(97) 599 que estabelecia como objectivo o uso de 12% de energias renováveis até 2010. [19] Mais tarde, em 2001, de modo a cumprir os compromissos assumidos no protocolo de Quioto, foi criada uma directiva que estabeleceu como objectivo, 22,1% de electricidade proveniente de fontes de energia renovável, nos quinze países que nessa altura constituíam a União Europeia. [20]

No entanto verificaram-se dificuldades e incumprimentos dos objectivos propostos. Deste modo, a Comissão Europeia emitiu, entre outras, a comunicação COM(2006) 105 designada "Livro Verde - Estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura", que define as estratégias a longo prazo nas áreas da política energética, sustentabilidade e competitividade, baseadas especialmente no uso de fontes de energia renovável ou com reduzidas emissões de CO_2. [21] Seguiu-se a publicação, em Janeiro de 2007, do "Roteiro das Energias Renováveis Energias Renováveis" (comunicado COM(2006) 848) [22], aceite por todos os estados membros em Março desse ano.

Esse roteiro determina que até 2020, 20% da energia consumida na União Europeia seja proveniente de fontes de energia renovável e impõe a meta mínima de 10% do uso de bio-combustíveis no sector dos transportes. Estima-se que o cumprimento do objectivos anteriormente mencionados, reduzirá as emissões anuais de CO_2 entre 600 a 900 Mt em 2020. Considerando um preço do CO_2 de 25 €/t, o benefício económico estaria situado entre 150 a 225 biliões de € e ao mesmo tempo os países diminuirão a sua dependência de combustíveis fósseis até 250 Mtep em 2020.

Relativamente à eficiência energética, os países da União Europeia desperdiçam anualmente cerca de 20% da energia primária que consomem, devido a perdas por ineficiência nos processos de transporte e de consumo da energia primária. Face a esta realidade, a Comissão Europeia estabeleceu um plano de acção (comunicado COM(2006) 545) [23], de modo a controlar e reduzir o consumo de energia primária em 20% até ao ano de 2020. Os edifícios, nomeadamente residenciais e do sector dos serviços, a indústria de manufactura e o sector dos transportes, são as áreas com maior potencial para a redução do consumo de energia por via da eficiência energética. Estima-se que estas medidas permitam uma poupança energética de 390 Mtep por ano em 2020, e a consequente não emissão de 780 Mt de CO_2.

A Comissão Europeia tem ainda como objectivo, a criação de normas por forma a remover barreiras ao desenvolvimento das energias renováveis no sector da produção de electricidade e da climatização, melhorar o mercado interno, tornando-o mais transparente, informativo e que permita a fácil entrada de novos produtores. Os países da União desejam ainda minimizar as vulnerabilidades relativas à importação de energia, rupturas de abastecimento, crises energéticas e incertezas no abastecimento futuro. Assim, pretende implementar uma política energética comunitária com o objectivo de tornar a energia mais segura, competitiva e sustentável, promovendo a segurança e estabilidade económica. [24]

O "Roteiro das Energias Renováveis Energias Renováveis" de 2007 possibilita a adopção de medidas e o desenvolvimento de planos de acção, de acordo com as capacidades e potencial de cada estado membro. Estes planos de acção deverão incluir medidas e objectivos específicos para os três seguin-

tes sectores: electricidade, bio-combustíveis e climatização de edifícios. Em Dezembro de 2008, foram publicados os objectivos individuais de cada estado membro em função da percentagem de energias renováveis já implementadas em 2005 e do seu produto interno bruto. Os países são livres de escolher quais as fontes de energia renovável que pretendem implementar, sendo o cumprimento dos objectivos na globalidade, o facto relevante.

A cada dois anos os países membros têm que entregar à União Europeia relatórios sobre o seu desenvolvimento actual face ao que se pretende até 2020. Para ajudar os estados membros, foram criadas linhas de orientação para o sucesso desta directiva. Assim, espera-se que entre 2011 e 2012, os estados tenham cumpridos 20% dos seus objectivos. Entre 2013 e 2014, o valor deve ser de 30% e entre 2017 e 2018, os países já devem ter alcançado 65% da sua meta. [20] No caso de Portugal, o objectivo consiste em atingir 31% de produção de electricidade a partir de fontes renováveis até ao ano de 2020.

1.4 Sustentabilidade em meio urbano

1.4.1 Eficiência e certificação energética dos edifícios

Um edifício tem associado uma série de custos intrinsecamente ligados com a utilização de energia. Na Europa, o sector dos edifícios corresponde a 40% do uso de energia final. Contudo, mais de metade deste consumo poderia ser reduzido, recorrendo a medidas de eficiência energética e tal redução corresponderia a uma diminuição anual de 400 toneladas de CO_2. [25]

Assim, a escolha do tipo de iluminação, de electrodomésticos bem como de outros equipamentos eléctricos deve ser realizada tendo em conta a sua eficiência energética. Em complemento, deve-se fazer um uso racional dos equipamentos e iluminação, como por exemplo apenas estarem ligados enquanto utilizados e, uma vez desnecessários, desligá-los completamente.

Para além destes hábitos do quotidiano, existem algumas metodologias a seguir desde o projecto e construção de um edifício no que toca à sua eficiência energética. Estas boas práticas permitirão, mais tarde, elevadas economias referentes às necessidades de arrefecimento e aquecimento do edifício. A escolha da orientação (preferencialmente a sul) e distribuição das divisões dos edifícios, um bom isolamento com materiais de baixo coeficiente de transferência de calor, um bom compromisso entre as aberturas para o exterior promovendo a luz solar e as superfícies opacas da fachada, são algumas das boas práticas de construção de edifícios. Estas podem ainda ser complementados com fontes de energia renovável, como colectores solares térmicos e módulos fotovoltaicos, diminuindo ainda mais a dependência energética externa do edifício. Embora o investimento inicial possa ser elevado, em poucos anos a sua recuperação é conseguida (tipicamente entre 6 a 8 anos), tanto mais que os edifícios são estruturas projectadas para durarem muitas décadas.

Neste contexto da eficiência dos edifícios, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar nos Edifícios criou o certificado energético. Portugal tornou-se desta forma, um dos cinco primeiros países a transporem a directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Os principais objectivos desta di-

rectiva são a definição de um método de cálculo do desempenho energético, a imposição de novos requisitos para edifícios novos ou que sejam substancialmente remodelados e inspecções a caldeiras e ar condicionados. [25]

O certificado pode ser emitido por edifício ou fracções autónomas e pretende criar uma medida uniforme e inequívoca do desempenho energético do edifício. Para o efeito existe uma escala que varia entre A+ (mais eficiente) a G (menos eficiente). O certificado energético informa ainda sobre possíveis medidas para melhorar no desempenho energético do edifício e que sejam economicamente viáveis. Deste modo, o certificado energético permite, a quem pretenda comprar ou arrendar um edifício residencial, perceber qual a eficiência do mesmo e quais os consumos esperados para uma utilização normal. Relativamente a edifícios públicos e de serviços, o certificado energético tem como mais valia informar os utentes sobre o desempenho do edifício e se este assegura uma boa qualidade do ar interior.

Em Portugal, entre Janeiro de 2007 e Junho de 2010, já foram emitidos cerca de 199 mil certificados energéticos. Aproximadamente 65 mil correspondem a edifícios ou habitações com a categoria C e 67 mil com a categoria B. Apenas se emitiram 989 certificados com a categoria de A+ e 8619 com a categoria A. Existem cerca de 57 mil edifícios ou habitações com um desempenho energético fraco, os quais se situam entre os escalões D e G. [26] Embora estes dados apenas se refiram a uma pequena fracção dos edifícios de Portugal, especialmente edifícios onde a emissão do certificado é obrigatória, eles possibilitam ter a noção de que na maioria dos casos, onde 61% dos certificados tem classe igual ou inferior a C, é possível a implementação de medidas que melhorem a eficiência energética.

1.4.2 Redes inteligentes de distribuição de electricidade: InovGrid

O aumento da procura de electricidade deve-se, entre outros factores, ao aumento da população e à utilização mais frequente de equipamentos eléctricos com potência considerável. A rede eléctrica nacional já apresenta dificuldades na capacidade de resposta e na manutenção da sua estabilidade devido às constantes oscilações entre a procura e a oferta. A introdução no mercado do carro eléctrico virá acentuar ainda mais esta situação.

De forma a dar resposta a estes problemas, a EDP - Energias de Portugal, S.A. lançou o projecto *InovGrid* a 22 de Outubro de 2007. O objectivo é investir em três pontos fundamentais no sector eléctrico: redes de distribuição inteligentes, telegestão de energia e microgeração. Este projecto está a ser desenvolvido em parceria com a associação privada INESC Porto, e as empresas Efacec, Janz e Edinfor. O Investimento inicial até 2010 é de 70 milhões de €. [27]

Serão implementadas redes bidireccionais, contadores inteligentes nos consumidores e produtores e subestações digitais geridas remotamente. Deste modo, será muito mais fácil e expedita a gestão da rede, reagindo de imediato a solicitações dos consumidores ou a injecções de energia por parte dos produtores. O auto-controlo em tempo real dos fluxos de energia permitirá um melhor fornecimento de electricidade aos consumidores e a detecção e resolução de avarias mais eficazmente. Posto isto, a rede eléctrica será mais eficiente, com uma gestão mais fácil, ter-se-á um maior controlo sobre as fontes de energia e haverá uma diminuição dos custos de operação. [28]

Relativamente aos contadores inteligentes a instalar nos consumidores e produtores, as denominadas *Energy Box* permitem, entre outras funcionalidades, receber mensagens, analisar graficamente os consumos e os respectivos custos, fazer simulações e associá-las a dispositivos locais como PDA's e computadores. A facturação será mensal e sempre baseada em leituras reais.

O projecto *InovGrid* terá igualmente impacto no sector dos transportes. A EDP está a desenvolver uma rede de pontos de abastecimento para carros eléctricos, que também estará ligada às redes inteligentes, fazendo a gestão das operações de carga e descarga. De notar que quando a rede está com energia disponível, o preço da operação de carga será mais baixo. Por outro lado, a operação de descarga será valorizada sempre que a rede esteja com uma maior necessidade de energia.

No âmbito deste projecto a cidade de Évora é a primeira *InovCity* e será pioneira na implementação de redes inteligentes em Portugal. O projecto teve inicio do dia 6 de Abril de 2010 e até ao final do ano cerca de 30 mil clientes de baixa tensão farão parte da rede inteligente e utilizarão as potencialidades das *Energy Box*.

Numa *InovCity* a iluminação pública também merece atenção. A luminária actual será reformada, havendo a substituição das lâmpadas comuns por iluminação de tecnologia LED, permitindo uma redução no consumo de electricidade até 50%. A regulação da iluminação será feita de acordo com as necessidades, isto é, vai aumentando de intensidade com o anoitecer e entre as horas mortas (das 2:00 às 5:00) será reduzida, mas mantendo sempre as condições de segurança. Nalguns sítios serão implementados sistemas de detecção rodoviária e humana permitindo apenas que as luzes estejam acesas enquanto necessário. Os semáforos passarão a utilizar também iluminação LED, constituindo uma diminuição no consumo de 80%, face as lâmpadas incandescentes. Estas medidas permitirão ainda poupar nos custos de manutenção, dado que o tempo de vida de 100 mil horas de uma lâmpada LED, é bastante superior ao das lâmpadas incandescentes. [29]

Posto isto, espera-se que Évora venha a ser um exemplo de sustentabilidade energética ao tornar-se mais eficiente, reduzindo as emissões de CO_2, potenciando a microgeração e a mobilidade baseada em veículos eléctricos. A tecnologia e o conhecimento aplicados nesta cidade serão posteriormente implementados a nível nacional.

1.4.3 Exemplos de sustentabilidade urbana

A crescente preocupação com a sustentabilidade em meios urbanos tem desencadeado inúmeras medidas e iniciativas, tais como as enunciadas nas subsecções 1.4.1 e 1.4.2. Actualmente já existem algumas construções que foram projectadas tendo em conta a sua sustentabilidade energética. Um edifício demonstrativo das boas práticas em eficiência energética e uma importante referência na experimentação e testabilidade de estratégias solar passivas e activas, é o *Edifício Solar XXI* desenvolvido pelo LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia). [30]

Outro projecto importante é o *Beddington Zero (fossil) Energy Development* ou *BedZed* situado em Hackbridge no sul de Londres. O *BedZed* é uma zona projectada de raiz, constituída por vários edifícios, totalizando 83 apartamentos de habitação e mais 3000 m^2 em espaços para escritórios, zonas de lazer, de comércio e serviços. O objectivo desta área urbana é ser neutra em emissões de dióxido de

carbono e gerar tanta ou mais energia a partir de fontes renováveis do que a consumida. A construção iniciou-se em 2000 e começou a ser habitado em 2002. [31]

De forma a cumprir os objectivos a que se propõe, o *BedZED* foi projectado tendo em conta vários aspectos relacionados com a poupança de energia, a gestão de recursos e os transportes. Os apartamentos estão virados a sul de forma a maximizar os ganhos solares, os vidros são duplos nas janelas a sul e triplos nas restantes orientações. Estão equipados com electrodomésticos de classe energética A e lâmpadas de baixo consumo. As paredes e os tectos são construídos recorrendo a materiais com reduzidos coeficientes de transferência de calor e a arquitectura dos edifícios valoriza a ventilação passiva, diminuindo os custos com ventilações eléctricas e climatização. [31]

Nas coberturas dos edifícios existem 777 m^2 de área de painéis fotovoltaicos. As águas pluviais são recolhidas, podendo ser aproveitadas para em jardins ou águas sanitárias. Existem ainda planos para o funcionamento de uma pequena estação de tratamento de águas residuais, assim como de uma central a biomassa de produção combinada de calor e electricidade.

Alguns apartamentos têm ainda pequenas hortas para que possam ser cultivados alguns alimentos. Os seus moradores são incentivados a não usarem os seus automóveis, com base em várias medidas: a aplicação de uma taxa anual por cada veículo estacionado no local, providenciar alternativas ao uso do veículo privado, promover os transportes públicos e reduzir necessidades de deslocações.

A produção e o consumo de energia têm sido monitorizados permitindo tirar algumas conclusões relativamente à na zona vizinha de Sutton. O consumo médio diário de electricidade por habitante do BedZED é de 3,4 kWh, correspondendo a uma diminuição de 38%. O consumo anual por habitação é de 2579 kWh, o que equivale a uma redução de 45%. [32], [33]

Relativamente ao consumo anual de gás para aquecimento e água quente, este é de 3526 kWh por habitação, havendo uma poupanças de 81,3% e de 80,7% face à zona de Sutton e ao Reino Unido, respectivamente. O consumo diário por pessoa é de 5,2 kWh o que constitui uma redução de 77% quando comparado com os valores nas áreas urbanas próximas. Os habitantes do BedZED consomem 72 litros de água canalizada, acrescidos de 15 litros de águas recicladas ou das chuvas. Assim, o total de água utilizada é menos de metade que a média registada naquela zona. [32], [33]

Embora a construção de novos edifícios, ou mesmo bairros como o *BedZED*, conduzam a bons resultados na área da sustentabilidade e poupança de energia, a grande maioria das zonas urbanas já se encontra consolidada. Desta forma, é essencial a reconstrução, requalificação ou alteração dos edifícios já existentes, e a aplicação de planos a nível urbano, com o objectivo de melhorar a eficiência energética e a sustentabilidade das cidades.

Um exemplo importante foi o projecto SECURE (*Sustainable Energy Communities in Urban Areas in Europe*), financiado pela União Europeia e desenvolvido entre 2006 e 2008 em quatro cidades europeias: Malmö (Suécia), Halleröd (Dinamarca), Tallinn(Estonia) e Dublin (Irlanda). Este programa criou um conjunto de planos de acção que incluem uma análise do potencial das energias renováveis, a análise de medidas de eficiência energética em edifícios e no sistema de transportes e o estudo de incentivos fiscais e instrumentos de controlo para se implementarem sistemas de energia mais sustentáveis. Estes estudos constituem uma base de trabalho e uma metodologia para uma transformação a

longo prazo, no sentido de maior sustentabilidade e eficiência. [34]

Em 2005 um grupo de cidades a nível mundial reuniu-se com a finalidade de debaterem as alterações climáticas e medidas a seguir para reduzirem a emissão de gases com efeito de estufa. O grupo denominado *Large Cities Climate Leadership Group*, ou simplesmente *C40*, pôs em prática várias iniciativas para promover uma utilização mais eficiente e racional da energia. Estão a ser desenvolvidas um conjunto de boas práticas nas áreas dos edifícios, fontes de energia renovável, transportes, e outras actividades que usem energia, no sentido de que possam ser aplicadas pelas cidades envolvidas, havendo cooperação e troca de conhecimentos. Em 2006, foi estabelecida uma parceria com a *Clinton Climate Initiative (CCI)*. Deste modo, a *CCI* garante assistência a nível técnico e financeiro, o apoio nos diversos projectos, disponibiliza ferramentas de análise e proporciona a colaboração entre cidades. [35]

1.4.4 Organização e objectivos da tese

A presente tese é composta pelos seguintes cinco capítulos e dois anexos:

- Capítulo 1: Introdução
- Capítulo 2: Caracterização da freguesia da Portela
- Capítulo 3: Implementação de fontes de energia renovável na freguesia da Portela
- Capítulo 4: Implementação de fontes de energia renovável, em meio urbano, a nível nacional
- Capítulo 5: Conclusão
- Anexo A: Produção em Regime Especial
- Anexo B: Modelo ENPEP-BALANCE

O principal objectivo da introdução consiste em realizar uma abordagem ao panorama energético, desde uma vertente mundial até ao caso português, focando aspectos essenciais como consumos de energia primária, distribuição dos tipos de fontes de energia para produção de electricidade, emissões de CO_2, características do sector energético, tendências de evolução a médio prazo, entre outros. Também é desenvolvido o tema das energias renováveis, descrevendo várias tecnologias existentes, o estado da arte, custos e preços, desenvolvimento do mercado e a política europeia associada à implantação deste tipo de fontes. Por fim, apresentam-se alguns exemplos e medidas que têm como objectivo o aumento da eficiência energética e da sustentabilidade em meio urbano.

No segundo capítulo serão apresentadas as informações mais relevantes sobre o bairro da Portela, desde os dados geográficos e sociais, passando pelo sistema de distribuição de electricidade. A relação entre vários tipos de dados permitirá obter indicadores muito interessantes, como é o caso do consumo de electricidade por habitante ou por m^2 de área edificada. Esta informação recolhida e tratada tem como objectivo possibilitar a realização de uma avaliação credível do potencial de aplicação de fontes de energia renovável na freguesia da Portela.

O terceiro capítulo consiste na exposição das várias soluções para a produção de energia renovável, nomeadamente a partir das tecnologias solar fotovoltaico e eólica que serão tratadas com mais detalhe,

descrevendo as sucessivas etapas da avaliação do potencial. Serão apresentados os resultados mais importantes, como a quantidade de electricidade que é possível produzir a partir de fontes renováveis, os custos associados, as emissões de CO_2 evitadas, entre outros.

O quarto capítulo consiste numa simulação do mercado energético português, com especial atenção para o sistema de distribuição de electricidade, tendo-se usado o software ENPEP-BALANCE. O principal objectivo consistirá em determinar qual a influência da produção de electricidade a partir de fontes de energia renovável, instaladas em meio urbano a nível nacional.

O quinto e último capítulo contém um resumo dos resultados e as conclusões alcançadas nesta tese, assim como várias propostas para o desenvolvimento de futuros trabalhos relacionados com o bairro da Portela.

O anexo A contém a informação sobre a produção de electricidade em regime especial, a qual é usada na obtenção de alguns resultados do terceiro capítulo e o anexo B consiste numa descrição sucinta do software ENPEP-BALANCE, utilizado no quarto capítulo.

Capítulo 2

Caracterização da freguesia da Portela

A avaliação do potencial de aplicação de fontes de energia renovável na freguesia da Portela, requer o conhecimento prévio de várias características deste bairro essencialmente residencial, sendo que algumas delas são semelhantes a muitas zonas urbanas nacionais.

As zonas urbanas consolidadas possuem, comparativamente à zonas urbanas que ainda se encontram por edificar, a grande maioria dos edifícios, contribuindo para um elevado consumo de energia. Por esta razão, é muito importante o estudo das áreas urbanas com edifícios já construídos, com o objectivo de melhor compreender as suas características e assim desenvolver soluções para a poupança de energia e implementação de energias renováveis.

Neste capítulo, será apresentada a informação mais relevante sobre o bairro da Portela, desde os dados geográficos e sociais, passando pelo sistema de distribuição de electricidade. A relação entre vários tipos de dados permitirá obter indicadores muito interessantes, como é o caso do consumo de electricidade por habitante ou por m^2 de área edificada.

A exposição e tratamento dos dados, terá em consideração que estes serão posteriormente usados no estudo detalhado, sobre as várias possibilidades de produção de energia renovável no bairro da Portela.

2.1 Dados geográficos e sociais

A Portela é uma freguesia localizada no extremo sudoeste do concelho de Loures, e que faz fronteira com as freguesias de Prior Velho, a oeste, de Sacavém, a norte, de Moscavide, a este e de Santa Maria dos Olivais, a sul e já no concelho de Lisboa. A freguesia da Portela apenas foi constituída a 4 de Outubro de 1985, por desmembramento das freguesias de Sacavém e de Moscavide (ver figura 2.1), tendo uma área de 0,995 km^2.

No entanto, a urbanização da Portela é mais antiga: onde outrora existiam várias quintas senhoriais, nasceu na década de 60 um dos primeiros bairros da zona de Lisboa construído com base num plano de ordenamento territorial.

O auge da construção urbana ocorreu nas décadas de 70 e 80 (ver figura 2.2), ficando marcado por uma rigorosa configuração geométrica dos edifícios, em torno de um centro comercial de influência arquitectónica Nova-Iorquina. [36] A ideia base consistiu em organizar os prédios em torno de um

Figura 2.1: Localização da freguesia da Portela e vista aérea da mesma.

pólo comercial, permitindo a criação de uma força centrípeta que proporcionasse o encontro dos seus moradores num mesmo local (ver figura 2.1).
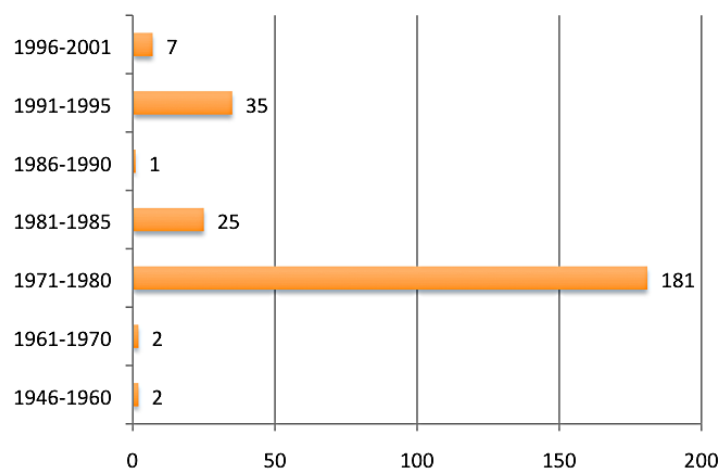
Figura 2.2: Número de edifícios construídos por intervalo de tempo.

Para além dos edifícios residenciais, a freguesia da Portela possui vários equipamentos de utilidade pública, fazendo com que esta freguesia não seja somente mais um dormitório, mas que tenha uma vida urbana distinta e um ambiente bastante acolhedor. Assim, esta urbanização possibilita uma ordenação

do território agradável à vista, e que proporciona uma noção de organização espacial, permitindo uma melhor distribuição de espaços públicos, de habitação e de lazer.

Como exemplo de equipamentos de utilidade pública temos o Centro Comercial da Portela, o Parque Desportivo da Associação de Moradores, três escolas (uma primária, uma preparatória e outra secundária), a Igreja de Cristo Rei da Portela, os jardins Almeida Garrett e das Descobertas, entre outros espaços verdes mais pequenos.

Na zona norte e noroeste da freguesia existem vários edifícios e armazéns (cerca de dez) pertencentes a empresas privadas, enquanto que na zona oeste se localiza o Instituto Geográfico do Exército (IGEOE). A única zona degradada da freguesia é o bairro Quinta da Vitória, a sudeste do IGEOE, e como é uma zona que precisará de requalificação e de obras de renovação, não será incluída no estudo desenvolvido nesta tese, nem nos dados mais importantes apresentados posteriormente.

2.1.1 Caracterização física

De acordo com os dados do Censos 2001 [37] e com base em cartografia vectorial à escala 1/1000, existem na Portela 255 edifícios residenciais. A estes edifícios corresponde um total de 5272 alojamentos, e desse total, 4643 são alojamentos familiares de residência habitual, e dos quais apenas 331 se encontram arrendados. Quanto às condições de habitabilidade, todos os alojamentos possuem electricidade, água, e saneamento básico. Estes dados dão uma média de 18,2 alojamentos por edifício e de 20,7 alojamentos familiares de residência habitual por edifício.

A edificação da freguesia da Portela possui uma construção onde prevalecem alojamentos com 5 ou mais divisões: 3969 alojamentos têm esse número de divisões, enquanto que 585 alojamentos têm 3 ou 4 divisões, e apenas 89 alojamentos têm 1 ou 2 divisões. Estes números referem-se ao total de alojamentos familiares de residência habitual, isto é, aos alojamentos habitados permanentemente, enquanto que existem 629 alojamentos que estão vagos ou que raramente são usados, e sobre os quais o Censos 2001 não possui informação.

Outra característica desta urbanização é a elevada altura da grande maioria dos edifícios: o número médio de pisos é 10, sendo que 68,6% dos 255 edifícios têm 10 ou mais pisos. Assim, os topos da maioria dos edifícios encontram-se praticamente à mesma altura, o que é um elemento favorável na aplicação de fontes de energia renovável na cobertura dos mesmos: no caso de solar fotovoltaico não existem sombras provocadas por outros edifícios, e no caso da eólica não existem obstáculos ao mesmo nível das turbinas, logo a turbulência será menor.

A área bruta das coberturas dos edifícios residenciais é de 73295 m^2, o que dá um valor médio de 286 m^2 de cobertura por edifício. Se apenas forem contabilizados os edifícios com mais de 5 pisos, tem-se uma área bruta de 68405 m^2, resultando numa média de 329 m^2 de cobertura por edifício. Este valor médio superior ao inicial deve-se ao facto de anteriormente se terem considerado 47 moradias de 2 pisos, com áreas de cobertura reduzidas quando comparadas com os restantes edifícios.

Existe uma outra hipótese para implementar fontes de energia renovável nos edifícios, nomeadamente painéis solares fotovoltaicos: há 23 empenas cegas orientadas a sul e que totalizam uma área bruta de 9172 m^2. No entanto, é preciso ter em atenção que, quer as áreas das coberturas, quer as das

empenas cegas, são valores majorados pois não têm em conta obstáculos existentes nas próprias coberturas ou sombras presentes nas empenas cegas. Na secção 3.1 serão apresentadas as respectivas áreas úteis, assim como a justificação para obter tais valores.

Relativamente a edifícios não residenciais, a freguesia da Portela tem 47 edifícios, desde os pavilhões de 3 escolas, a junta de freguesia, um centro comercial, armazéns e escritórios de empresas privadas, entre outros. A área bruta das coberturas é 45682 m^2, o que dá uma média de 985 m^2 de cobertura por edifício. Assim, na freguesia da Portela existe um total de 118976 m^2 de área bruta de coberturas.

Na tabela 2.1 encontra-se o resumo das características físicas mais importantes, e na figura 2.3 é possível visualizar esses mesmos dados por zona estatística da freguesia.

Dados físicos		**Dados sociais**	
Edifícios residenciais	255	Indivíduos	15441
Alojamentos	5272	Densidade populacional (hab/km^2)	15523
Média por edifício	18,2	Indivíduos (excluindo	
Alojamentos familiares de residência habitual	4643	o bairro Quinta da Vitória)	13742
		Densidade populacional (hab/km^2)	19316
Média por edifício	20,7	Média de indivíduos por alojamento	3
Edifícios com 10 ou + pisos	175	Famílias clássicas residentes	4730
Área bruta das coberturas		Média por alojamento habitual	1
de edifícios residenciais (m^2)	73295	Famílias compostas por:	
Média por edifício (m^2)	286	1 ou 2 pessoas	1849
Área bruta das coberturas de edifícios residenciais com 5 ou + pisos (m^2)	68405	3 ou 4 pessoas	2542
		5 ou + pessoas	339
Média por edifício residencial (m^2)	329	Indivíduos dos 0 aos 13 anos	1354
Área bruta das empenas cegas (m^2)	9172	Indivíduos dos 14 aos 24 anos	2543
Edifícios não residenciais	47	Indivíduos dos 25 aos 64 anos	8230
Área bruta das coberturas		Indivíduos com mais de 65 anos	1525
de edifícios não residenciais (m^2)	45682	Indivíduos com curso superior (%)	35,3
Média por edifício (m^2)	985	Indivíduos com ensino secundário (%)	25,2

Tabela 2.1: Resumo das características físicas e sociais mais importantes da freguesia da Portela.

2.1.2 Caracterização social

Os dados mais recentes sobre a densidade demográfica da freguesia da Portela datam de 2001, aquando da realização do Censos 2001. A população residente na freguesia é de 15441 indivíduos, um valor que diminui comparativamente ao ano de 1991, em que existiam 16879 habitantes, representando um decréscimo de 8,5%.

A densidade populacional da Portela é de 15523 hab/km^2, sendo a freguesia do concelho de Loures com maior densidade populacional. Não contabilizando os moradores do bairro Quinta da Vitória, tem-se 13742 habitantes, o que dá uma densidade populacional de 19316 hab/km^2.
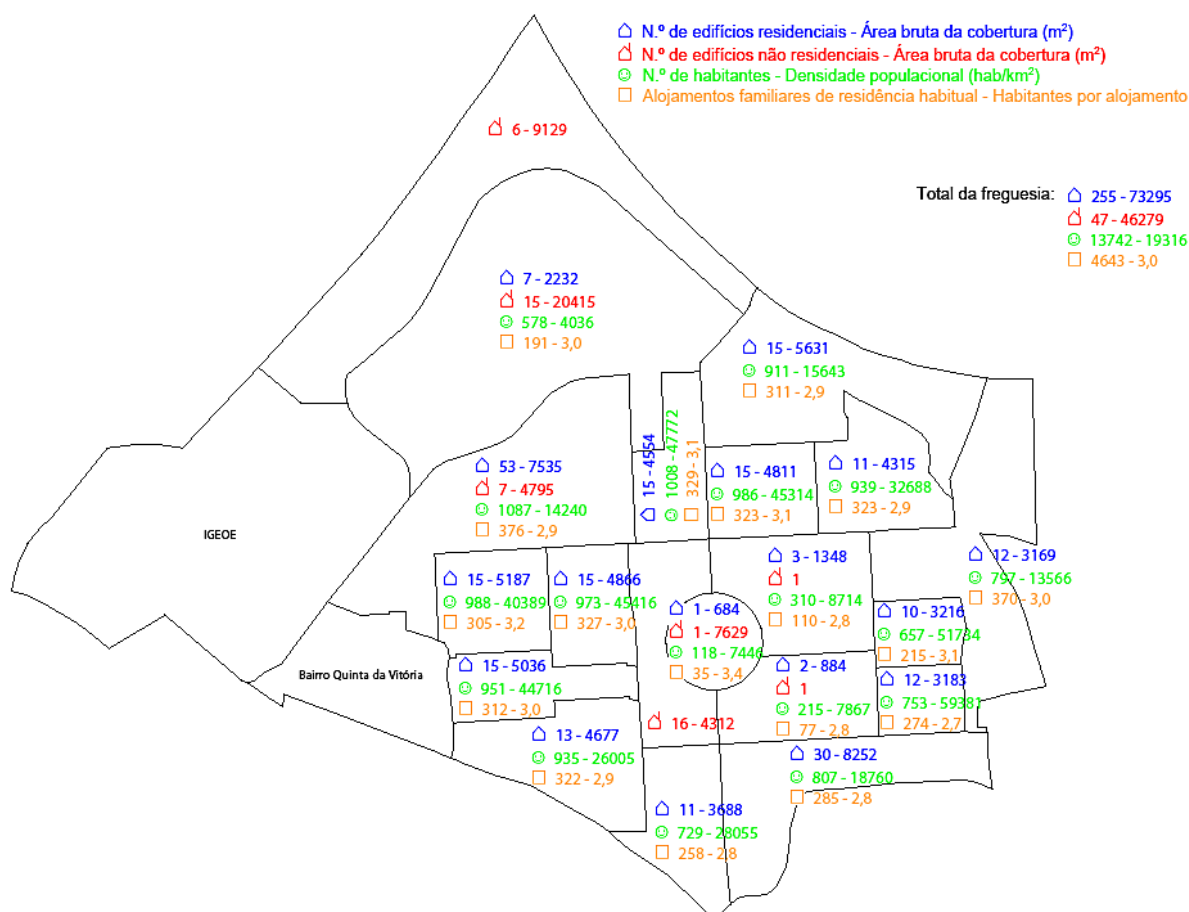
Figura 2.3: Características físicas e sociais mais importantes da freguesia da Portela, segundo as secções estatísticas do Censos 2001.

O número de famílias clássicas residentes é de 4730, sendo que 1849 são compostas por 1 ou 2 pessoas, 2542 por 3 ou 4 pessoas, e as restantes 339 famílias possuem 5 ou mais membros. De notar que o número de famílias residentes é bastante próximo do número de alojamentos familiares de residência habitual, ou seja, existe praticamente uma família por alojamento. Com base no número de habitantes e de alojamentos, obtém-se uma média de 3 pessoas por alojamento familiar de residência habitual, o que está de acordo com o facto de a maioria das famílias serem compostas por 3 elementos.

Quanto a escalões etários a população residente na Portela tem a seguinte distribuição: 1354 indivíduos dos 0 aos 13 anos, 2543 indivíduos dos 14 aos 24 anos, 8320 indivíduos dos 25 aos 64 anos e 1525 indivíduos com 65 ou mais anos. Com base nestes números e na pirâmide etária de 2001 (ver figura 2.4), constata-se que a população da Portela se distribui por dois grandes escalões etários: dos 20 aos 29 anos e dos 50 aos 59 anos. Como o início da construção da urbanização ocorreu à 30 anos (contando a partir de 2001, data a que se referem estes dados), a pirâmide etária é o reflexo desse facto: actualmente vivem na Portela os habitantes que vieram no início da fase de construção e os seus filhos.

Por fim, um dado interessante sobre a população residente na Portela, é o seu nível académico. A freguesia da Portela possui o mais elevado nível de escolaridade do concelho de Loures, em que 32,2%
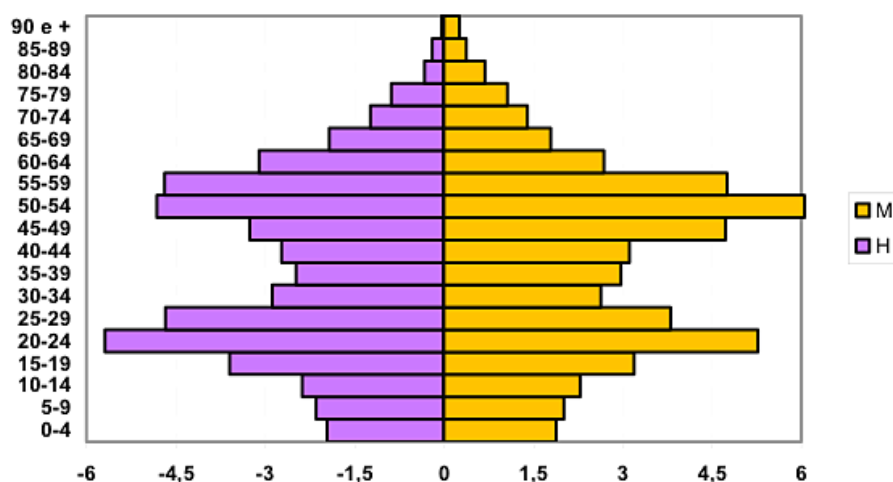
Figura 2.4: Pirâmide etária da população residente na freguesia da Portela em 2001 (valores em percentagem). [36]

possui curso superior, 3,1% possui curso médio, 25,2% tem ensino secundário, e os restantes 39,5% têm o nível de ensino entre o 1º e o 3º ciclo. O alto nível de escolaridade poderá ser uma vantagem na aplicação de fontes de energia renovável, uma vez que em princípio, quanto o maior grau de instrução, melhor deverá ser a sua percepção do conceito e necessidade de implementação de deste tipos de fontes de energia renovável e limpa.

Na tabela 2.1 encontra-se o resumo das características sociais mais importantes, e na figura 2.3 é possível visualizar esses mesmos dados por zona estatística da freguesia.

2.2 Sistema de distribuição de electricidade

A distribuição de electricidade na freguesia da Portela é da responsabilidade da empresa EDP Distribuição - Energia, S.A. a qual possui a informação sobre a rede, postos de transformação e potência requerida pela rede eléctrica que serve a freguesia. Esta distribuição é feita através de dois cabos de 10 kV, C.1342 e C.1343, saídos da sub-estação de Moscavide, e a localização desses cabos e dos respectivos postos de transformação encontra-se na figura 2.5.

No entanto, a EDP Distribuição - Energia, S.A. não possui os valores do consumo de electricidade para uma determinada zona, isto é, não existe informação compilada e tratada sobre o consumo de electricidade, quer seja total ou horário, nem em função do tipo de consumidor final. Como uma análise deste tipo nunca fora realizada, foi necessário desenvolver um método para obter um valor aproximado do consumo de energia eléctrica, na área urbana servida pelos dois cabos, sendo apenas necessário conhecer a carga destes à saída da subestação de Moscavide.

O método utilizado para calcular a energia eléctrica consumida anualmente na freguesia da Portela foi o seguinte: multiplicam-se os valores da carga de meia em meia hora de cada cabo (durante um período de 1 ano) por 10 kV, de modo a obter a potência à saída da subestação de Moscavide. Tendo os valores da potência de meia em meia hora, e assumindo que a potência é praticamente constante nesse intervalo de tempo, multiplicam-se esses valores por 0,5 para obter a energia fornecida durante

Figura 2.5: Localização dos cabos C.1342 (mapa à esquerda) e C.1343 (mapa à direita), ambos a verde, e dos postos de transformação (triângulos a azul).

cada meia hora.

Dado que ainda não foi implementado o projecto InovGrid, não existe a possibilidade de se conhecer com exactidão a energia eléctrica fornecida aos consumidores finais: alojamentos residenciais e edifícios não residenciais. Sem a telecontagem, não é possível conhecer a energia fornecida a cada posto de transformação ou ao conjunto de consumidores finais, e por isso não se pode saber o consumo por sectores de actividade (doméstico, comércio, público, etc.).

Assim, os valores mensais do consumo de energia, entre Maio de 2008 e Abril de 2009, obtidos segundo método descrito, estão presentes na tabela 2.2 e a sua representação gráfica encontra-se na figura 2.6.

O valor obtido para o consumo anual de energia eléctrica é de 19,6 GWh. A este valor corresponde uma certa quantidade de CO_2 emitida aquando da produção de tal energia. Segundo os dados da EDP [39], [40] a emissão de dióxido de carbono pelo sistema electroprodutor português é de 387,9 g/kWh para o ano de 2008, como se pode ver no gráfico da figura 2.7.

Os valores presentes no gráfico da figura 2.7 mostram uma diminuição das emissões específicas globais de dióxido de carbono (mais acentuada entre 2005 e 2006), seguida de uma estabilização em torno de 390 g/kWh. Deste modo, para um consumo anual de energia eléctrica de 19,6 GWh na zona da Portela, tem-se uma emissão de 7583,8 toneladas de CO_2, estando os valores detalhados ao mês presentes na tabela 2.2.

Em princípio, estamos perante um valor que é superior ao consumo da freguesia da Portela, uma vez que os cabos C.1342 e C.1343 estão ligados a postos de transformação fora da freguesia. Na figura 2.5 verifica-se que o cabo C.1342 fornece energia a quatro postos de transformação a sul da freguesia, e a outros cinco a norte. O cabo C.1343 fornece energia a um posto de transformação a sul

Ano	Mês	Cabo 1342 (MWh)	Cabo 1343 (MWh)	Dois cabos (MWh)	Emissões de CO_2 (t)
2008	Maio	682,8	795,1	1477,9	573,3
	Junho	757,1	794,3	1551,5	601,8
	Julho	704,8	788,0	1492,8	579,0
	Agosto	598,2	740,0	1338,2	519,1
	Setembro	690,9	787,1	1478,1	573,3
	Outubro	696,7	783,4	1480,1	574,1
	Novembro	786,9	853,6	1640,5	636,4
	Dezembro	973,9	1067,5	2041,4	791,9
2009	Janeiro	1020,2	1081,9	2102,1	815,4
	Fevereiro	783,7	850,5	1634,2	633,9
	Março	732,9	968,0	1701,0	659,8
	Abril	662,7	950,4	1613,1	625,7
Total (GWh)		9,1	10,5	19,6	7583,8

Tabela 2.2: Energia eléctrica fornecida à Portela, pelos cabos C.1342 e C.1343 e emissões de CO_2 associadas à produção dessa electricidade.
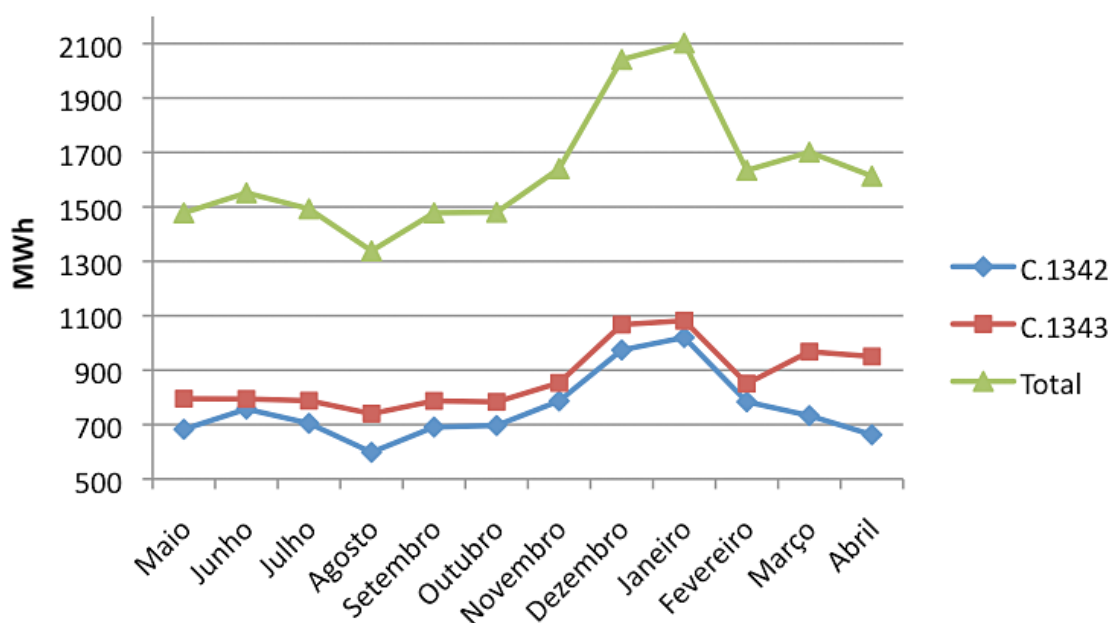
Figura 2.6: Energia eléctrica fornecida mensalmente à Portela, pelos cabos C.1342 e C.1343 (valores em MWh).

da freguesia.

Quanto ao tipo de consumidor final, este valor inclui não apenas o consumo doméstico, mas também o consumo ao nível de zonas comerciais (centro comercial da Portela), de armazéns e escritórios de empresas (situados maioritariamente na zona norte da freguesia), de espaços de utilidade pública (escolas, junta de freguesia), e de iluminação pública.

No entanto, é possível afirmar que a maior parte do consumo de electricidade se deve ao sector doméstico. Isto porque a freguesia da Portela tem uma elevada densidade populacional, mas também
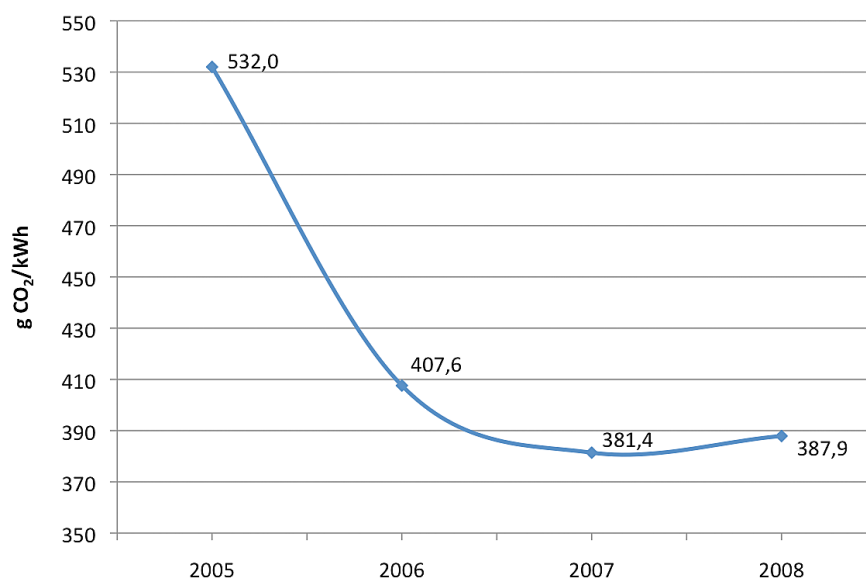
Figura 2.7: Emissões específicas globais de CO_2 do sistema electroprodutor português, entre 2005 e 2008.

porque a curva de potência horária dos cabos à saída da subestação de Moscavide, é típica de consumidores domésticos. Exemplo deste último facto é a figura 2.8, que representa a potência média de meia em meia hora do cabo C.1342, durante uma semana típica de cada mês.
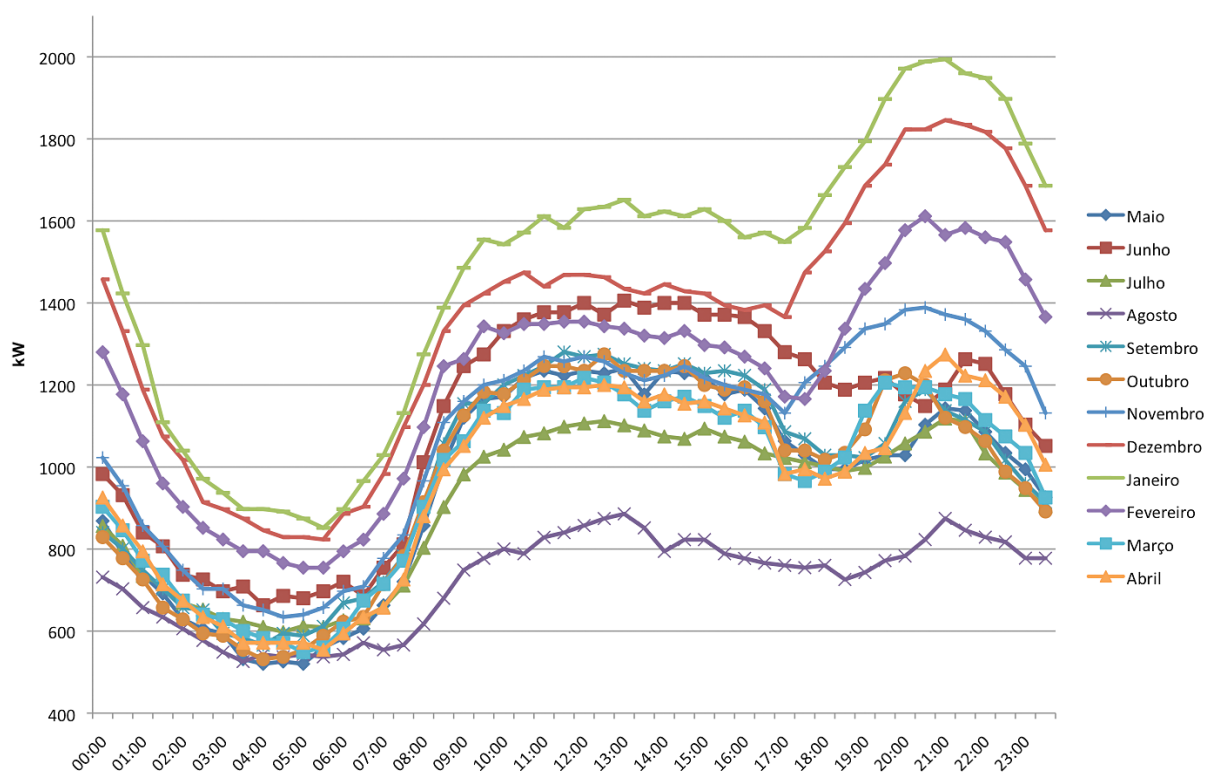
Figura 2.8: Potência média de meia em meia hora do cabo C.1342 (valores em kW). A forma das curvas e os valores para o cabo C.1343 são bastante semelhantes.

Na figura 2.8 observa-se claramente um pico de potência quando a maioria dos indivíduos estão

presentes e activos nas suas residências (entre as 18 horas e as 0 horas), assim como um período de menor consumo durante o período nocturno. Os valores praticamente constantes ao longo do dia (entre as 9 horas e as 17 horas) devem-se ao consumo de energia no comércio, empresas, escolas e outros espaços não residenciais, os quais normalmente têm um padrão de consumo regular no intervalo de tempo em que estão activos.

Outro dado que reforça a ideia do sector doméstico ser o principal consumidor de energia eléctrica é o gráfico da figura 2.6. Claramente se constata que o maior consumo de energia eléctrica ocorre nos meses de Inverno, nomeadamente entre Novembro e Fevereiro, enquanto que o menor consumo se regista nos meses de Verão, especialmente em Agosto. Estes dados revelam que os alojamentos residenciais da Portela têm enormes necessidades de aquecimento no Inverno, superiores a nível energético, às necessidades de arrefecimento no Verão. De notar que na figura 2.8, os maiores picos de potência ocorrem entre as 18 horas e as 0 horas entre os meses de Novembro e Fevereiro, altura do ano em que as temperaturas médias do ar são mais baixas, e no período horário em que a maioria das pessoas se encontra nas suas residências.

Como não existe informação sobre os consumos de electricidade do sector doméstico ao nível das freguesias, é necessário recorrer a dados compilados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) [38], referentes aos concelhos. A partir desses dados, faz-se um cálculo com base na proporção entre a população da freguesia da Portela e do concelho de Loures, assumindo igual consumo de electricidade por habitante em ambas as divisões administrativas, e os valores obtidos estão presentes na tabela 2.3.

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Loures	População residente	199059	199558	199713	199231	198638	197567	196467	195035
	Variação (%)		0,25	0,08	-0,24	-0,30	-0,54	-0,56	-0,73
	Consumo de electricidade (GWh)	173,0	183,3	188,1	197,4	206,1	221,0	210,7	205,6
	Variação (%)		5,91	2,63	4,93	4,43	7,22	-4,65	-2,41
Portela	População residente	13742	13742	13742	13742	13742	13742	13742	13742
	Consumo de electricidade (GWh)	11,9	12,6	12,9	13,6	14,3	15,4	14,7	14,5
	Emissões de CO_2 (t)					7585,6	6265,0	5621,1	5620,2

Tabela 2.3: Consumo de electricidade anual no sector doméstico, entre os anos de 2001 e 2008.

Assim, no ano mais recente em que existem dados, o consumo de electricidade no sector doméstico da freguesia da Portela é de 14,5 GWh em 2008. Os cálculos foram realizados, excluindo os moradores do bairro Quinta da Vitória uma vez que como se trata de um zona degradada, o padrão e valores de consumo não são, em princípio, semelhantes aos da restante urbanização da Portela. Outra suposição feita para a Portela, foi que o número de habitantes se manteve igual desde o Censos de 2001, uma vez que após o ano de 2001 não existem dados oficiais sobre esse número. Mesmo que se considerasse uma variação percentual igual à da população do concelho de Loures, não havia uma alteração significativa nos valores de consumo, e tal variação da população poderia até nem estar de acordo com a realidade da freguesia.

Com base nestes resultados é possível atribuir um consumo de electricidade de 5,1 GWh, em 2008,

a zonas comerciais, armazéns e escritórios de empresas, espaços de utilidade pública e iluminação pública.

Um dado importante da tabela 2.3 é a variação percentual do consumo de electricidade no sector doméstico do concelho de Loures. Embora o total de residentes do concelho possua uma tendência decrescente, havendo mesmo uma diminuição efectiva entre os anos de 2004 e 2008, verifica-se um aumento considerável no consumo de electricidade, com um aumento médio anual de 5,02% entre 2002 e 2006. Entre os anos de 2007 e 2008 houve uma diminuição média do consumo em 3,53%.

Um constante aumento anual superior a 4% não é sustentável a longo prazo, revelando a necessidade de pôr em prática medidas de sustentabilidade e de eficiência energética, assim como a implementação de fontes de energia renovável, como forma de aumentar a produção descentralizada de energia e a reduzir a emissão de poluentes associados à produção de energia por fontes convencionais.

De referir que se tentou conhecer mais características sobre o perfil energético do bairro da Portela, nomeadamente o consumo de gás natural ou o consumo de electricidade da iluminação pública. No entanto, as empresas não possuem esses dados de uma forma sistematizada e referente apenas uma freguesia, ou então não os facultam a particulares.

2.2.1 Indicadores

Ao associar alguns dados da caracterização física e social da freguesia da Portela, aos dados do consumo de energia eléctrica, é possível obter indicadores interessantes, os quais possibilitam uma melhor compreensão do consumo eléctrico na freguesia e consequentemente, uma superior sustentação de um plano para a aplicação de fontes de energia renovável.

Na tabela 2.4 estão presentes os mais importantes indicadores, como é o caso do consumo de electricidade por habitante, por alojamento familiar de residência habitual, ou por m^2 de área bruta de cobertura residencial.

Consumo de electricidade no sector doméstico	14,5	GWh
por área bruta de cobertura residencial	0,198	MWh/m^2
por habitante	1,054	MWh
por alojamento familiares de residência habitual	3,121	MWh
Emissões de CO_2	5620,2	t
por área bruta de cobertura residencial	76,7	kg/m^2
por habitante	409,0	kg
por alojamento familiares de residência habitual	1210,5	kg
Consumo de electricidade na freguesia da Portela	19,6	GWh
por área bruta total de cobertura	0,164	MWh/m^2
Emissões de CO_2	7583,8	t
por área bruta total de cobertura	63,7	kg/m^2

Tabela 2.4: Principais indicadores sobre o consumo de electricidade anual no sector doméstico e na freguesia da Portela, em 2008.

Os resultados da tabela 2.4 estão de acordo com o que é comum em zonas urbanas. Por exemplo, um consumo de 3,121 MWh por alojamento representa um consumo mensal médio de 260,0 kWh, o que dá uma factura energética mensal de 32,06 € (este valor apenas inclui o gasto com electricidade

consumida e foi obtido com uma tarifa de 0,1233 €/kWh).

Quando se considera o consumo de electricidade global da freguesia de 19,6 GWh, o cálculo referente a esse consumo por área é feito tendo em conta a totalidade da área bruta de cobertura, a qual inclui todo o tipo de edifícios presentes na freguesia. Pela tabela 2.4 verifica-se que embora o consumo de electricidade seja maior (mais 5,1 GWh em consumo não residencial), o acréscimo de área é bastante maior em proporção, fazendo com que se tenha um valor de consumo por área mais baixo.

Os valores de consumo de electricidade por área bruta de cobertura são importantes na avaliação da aplicação de fontes de energia renovável, como será visto no capítulo 3.

Quanto às emissões de dióxido de carbono, cada alojamento residencial emite por ano 1210,5 kg, somente relativo ao consumo de electricidade. Como é óbvio, o real valor deverá ser consideravelmente superior, uma vez que não se contabilizaram várias actividades emissoras de CO_2, como é o caso do uso de transportes movidos por combustíveis fósseis, ou o uso de gás natural para aquecimento, entre outras.

Capítulo 3

Implementação de fontes de energia renovável na freguesia da Portela

O modo como se avalia a implementação de fontes de energia renovável e o seu potencial para a produção de electricidade ou de outra forma de energia depende de muitos factores, desde a própria tecnologia até às características do local.

Como se tem o conhecimento das várias características e dados sobre o bairro da Portela, os quais foram expostos no capítulo 2, o seguinte passo lógico será determinar quais as tecnologias que podem ser instaladas, e apresentar os respectivos resultados em função do tipo de fonte de energia renovável.

Assim, neste capítulo serão expostas várias soluções para a produção de energia renovável, nomeadamente a partir das tecnologias solar fotovoltaico e eólica que serão tratadas com mais detalhe, descrevendo as sucessivas etapas da avaliação do potencial e apresentando os resultados mais importantes.

3.1 Solar fotovoltaico

A instalação de módulos fotovoltaicos em meio urbano realiza-se normalmente nas coberturas dos edifícios, por optimizar a disponibilidade de recurso natural (menos sombras), permitir menor impacto visual, ou ainda por questões de segurança, quer do equipamento, quer dos habitantes. No capítulo 2 foram apresentadas as áreas brutas das coberturas de edifícios residenciais, e dos restantes edifícios existentes na freguesia da Portela.

3.1.1 Contabilização da área útil

Nem toda a área coberta pode ser aproveitada para a colocação de módulos fotovoltaicos, uma vez que existem obstáculos nas coberturas, bem como por algumas se encontrarem a maior parte do tempo, parcialmente ou totalmente na sombra de outros edifícios. Como não é objectivo do presente trabalho a medição exaustiva e pormenorizada da área útil de mais de duas centenas de coberturas, é necessário desenvolver um método que possibilite obter uma estimativa fidedigna desse valor.

Embora a grande maioria dos edifícios possuam a mesma altura, sendo que 175 dos 255 edifícios residências têm mais de 10 pisos, existem certos edifícios que por terem uma altura menor (especial-

mente edifícios públicos), se encontram à sombra durante longos períodos do dia. De modo a poder excluir as coberturas que se encontram à sombra, é necessário criar um modelo a 3 dimensões do edificado da freguesia da Portela.

Recorrendo à cartografia vectorial à escala 1/1000, e a fotografia aérea em perspectiva, é possível obter um modelo a 3 dimensões. A construção desse modelo através do software *Google SketchUp* permite simular a incidência da radiação solar (direcção e inclinação dos raios solares), para qualquer altura do ano. O desenvolvimento do modelo teve como ponto de partida um desenho em CAD à escala 1/1000, o qual foi importado para o *Google SketchUp*. Seguiu-se a elevação dos limites exteriores de cerca de 300 edifícios, tendo em conta as respectivas alturas, de modo a obter-se um modelo credível do edificado da freguesia da Portela.

Na figura 3.1 encontra-se a representação a 3 dimensões dos edifícios, sendo possível observarem-se as respectivas sombras. As alturas do edifícios foram calculadas com base numa altura média por andar de 2,88 m, sendo o número de andares por edifício contabilizado através de fotografias aéreas.
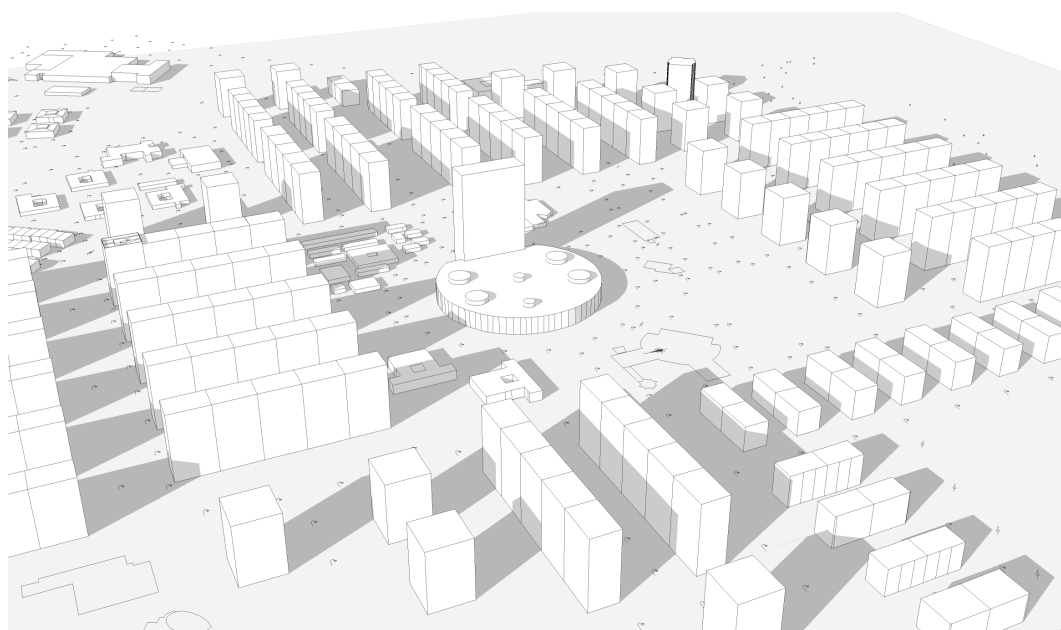
Figura 3.1: Modelo tri-dimensional dos edifícios da freguesia da Portela.

Excluindo os edifícios que possuem coberturas à sombra de outros edifícios ou estruturas, fica-se com uma área bruta de 72131 m^2 para edifícios residenciais e de 38196 m^2 para os restantes edifícios. Quanto à respectiva área útil, tomou-se como base uma estimativa visual, isto é, atribuiu-se a cada cobertura uma percentagem de área útil, que pode ser aproveitada para a colocação de painéis fotovoltaicos sem que seja necessário grandes modificações estruturais.

Como resultado obteve-se uma área útil de 42296 m^2 para edifícios residenciais e de 35516 m^2 para os restantes edifícios. Em média, a fracção de área útil nos edifícios residenciais é de 62%, enquanto que nos restantes edifícios é de 89%, uma vez que nos edifícios residenciais existem mais estruturas na cobertura, como antenas, chaminés e muros. Isto representa uma área útil média por edifício residencial de 174 m^2 e de 830 m^2 para edifícios não residenciais. A tabela 3.1 contém os indicadores referentes ao consumo de energia e emissões de CO_2, com os novos valores para a área

bruta sem sombra e área útil, tratando-se assim de uma actualização à tabela 2.4.

Consumo de electricidade no sector doméstico	14,5	GWh
por área bruta de cobertura residencial	0,201	MWh/m^2
por área útil de cobertura residencial	0,343	MWh/m^2
Emissões de CO_2	5620,2	t
por área bruta de cobertura residencial	77,9	kg/m^2
por área útil de cobertura residencial	132,9	kg/m^2
Consumo de electricidade na freguesia da Portela	19,6	GWh
por área bruta de cobertura	0,177	MWh/m^2
por área útil de cobertura	0,251	MWh/m^2
Emissões de CO_2	7583,8	t
por área bruta total de cobertura	68,7	kg/m^2
por área útil total de cobertura	97,2	kg/m^2

Tabela 3.1: Principais indicadores sobre o consumo de electricidade anual no sector doméstico e na freguesia da Portela, para o ano de 2008. Inclui os indicadores referentes à área bruta sem sombra e à área útil.

Os valores da área útil serão posteriormente usados aquando do cálculo do número de módulos fotovoltaicos que são possíveis instalar na freguesia da Portela, mas primeiro é necessário encontrar a relação entre um determinado número de módulos colocados de modo a maximizar a produção, e a respectiva área que eles ocupam, ou seja, quantos módulos é possível instalar numa superfície horizontal.

3.1.2 Determinação da potência fotovoltaica

Suponhamos que temos uma superfície com uma determinada área e que dispomos os painéis fotovoltaicos em sucessivas filas paralelas, preenchendo toda a superfície. A distância mínima entre sucessivas filas de módulos, de forma a que as sombras por eles provocados tenham o mínimo efeito na produção de electricidade, é dada pela equação 3.1:

$$d = l\left(\frac{\sin(\alpha-\gamma)}{\tan(h_0+\gamma)} + \cos(\alpha-\gamma)\right) \tag{3.1}$$

onde: $h_0 = (90° - lat) - 23,5°$ é a altura do sol ao meio dia solar do solstício de inverno (corresponde à altura mínima ao meio dia solar durante um ano), lat é a latitude do local, l é o comprimento do lado do módulo que não se encontra paralelo à superfície, α é o ângulo que o módulo faz com a superfície, e γ é o ângulo da superfície com a horizontal.

A equação 3.1 permite obter o equilíbrio entre o espaço disponível e o número de módulos fotovoltaicos, maximizando a produção, mas garantindo que as sombras provocadas pelos mesmos tenham o menor impacto. [41]

É agora necessário escolher um típico módulo fotovoltaico existente no mercado e utilizar as suas características para determinar, entre outros importantes resultados, o número de módulos que é possível instalar em função da área disponível e, consequentemente, o total de potência fotovoltaica que se pode colocar nas coberturas dos edifícios.

O mais lógico será escolher um módulo fotovoltaico que esteja dentro das características gerais dos produtos presentes no mercado. Deste modo não será grandemente afectada a universalidade

dos cálculos e dos respectivos resultados por se estar a particularizar o método para um determinado produto.

O módulo escolhido é da marca *Canadian Solar Inc.*, modelo *CS6P 230*, com uma potência nominal de 230 W e dimensões de 1,638 m por 0,982 m. Aplicando a equação 3.1 a este módulo, ou seja com l = 1,638 m, para uma superfície plana (γ = 0º), e com o módulo na inclinação ideal para a latitude de 37,8º (α = 34º), obtém-se uma distância mínima entre sucessivas filas de módulos fotovoltaicos de 3,10 m. Normalmente utiliza-se uma distância 25% maior do que a obtida pela expressão, como forma de garantir menos sombras nos meses em que a inclinação dos raios solares é menor, e que neste caso resulta em 3,88 m.

De modo a determinar a razão entre a área de módulos fotovoltaicos e a área de cobertura de que se dispõe para a sua instalação, recorre-se novamente ao programa *Google SketchUp* para desenhar a colocação de módulos sobre algumas coberturas de edifícios da Portela. A figura 3.2 exemplifica a instalação de módulos fotovoltaicos sobre um depósito de água e sobre um edifício privado, com áreas úteis de 689 m^2 e de 627 m^2, respectivamente. Nestes dois casos, a área útil tem o mesmo valor da área bruta uma vez que se tratam de coberturas planas, sem obstáculos, ou sombras.
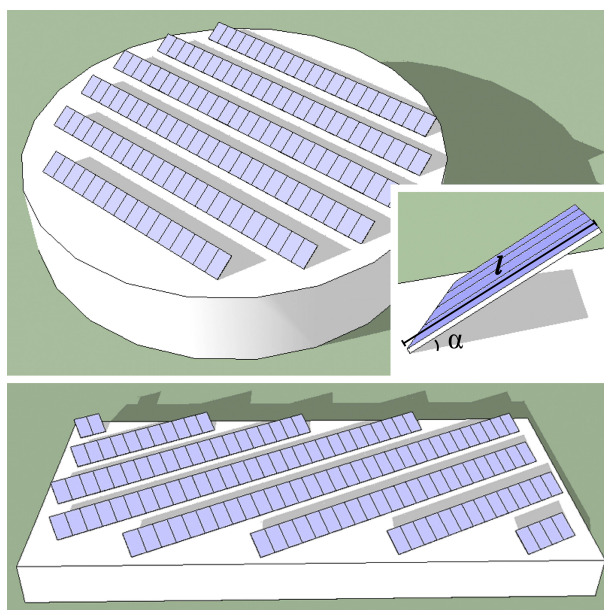
Figura 3.2: Exemplo da instalação de módulos fotovoltaicos em dois edifícios da freguesia da Portela.

Dispondo os módulos com uma distância de 3,88 m entre filas, obtêm-se um total de 138 módulos para o primeiro caso e de 135 para o segundo, o que resulta numa área de módulos fotovoltaicos de 225 m^2 e de 217 m^2, respectivamente. Como a área de cada módulo fotovoltaico é de 1,609 m^2, obtém-se assim um rácio entre a área de módulos fotovoltaicos e a área de cobertura de 0,327 e de 0,346, respectivamente.

Valores semelhantes são obtidos para outras áreas de coberturas, sendo que a forma geométrica da cobertura pouca influência tem no número de módulos fotovoltaicos que se consegue instalar. Em média, a percentagem de área de módulos fotovoltaicos instalados, face à área disponível é de 33%. Tendo uma área útil total de 77996 m^2, chega-se assim à área máxima de módulos fotovoltaicos possível de instalar nas coberturas dos edifícios da Portela: 25678 m^2. Isto resulta numa potência instalada de 3,67 MW, ou seja, uma potência por área útil de 47 W/m^2. A tabela 3.2 resume os resultados anteriormente obtidos.

Ao nível dos edifícios residenciais é possível instalar uma área de módulos fotovoltaicos de 13958 m^2, o que resulta numa potência de 1996 kW. Nos restantes edifícios, o potencial ascende a 11720 m^2 de área de módulos fotovoltaicos, ou seja, uma potência de 1676 kW.

Edifícios	Área (m^2)				Módulos fotovoltaicos		
	Bruta		Útil		Área	Número	Potência
	total	s/ sombra	total	% média	(m^2)		(kW)
Residênciais	73295	72131	42296	61,8	13958	8677	1996
Não residenciais	45682	38196	35700	89,1	11720	7286	1676
Total	118976	110327	77996	-	25678	15964	3672

Tabela 3.2: Resumo das áreas brutas e úteis dos edifícios da Portela e das principais características da instalação dos módulos fotovoltaicos.

3.1.3 Cálculo da electricidade produzida

A electricidade produzida por um sistema fotovoltaico depende de vários factores para além da sua potência. O principal condicionante é a disponibilidade do recurso natural, neste caso a radiação global que incide numa determinada região, e que por sua vez depende da latitude do local e das respectivas condições meteorológicas.

Vamos determinar a electricidade produzida recorrendo a um modelo acessível ao público, denominado PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*). O PVGIS é um instrumento de investigação, demonstração e de suporte a políticas energéticas, que permite a avaliação geográfica do recurso solar num contexto de gestão integrada da produção descentralizada de electricidade a partir de sistemas fotovoltaicos. Este instrumento foi desenvolvido no âmbito do projecto SOLAREC, o qual promove o desenvolvimento de um mercado fotovoltaico europeu justo e transparente, de modo a se cumprirem os objectivos relativos à implementação de fontes de energia renovável. [42] O projecto SOLAREC está integrado no *JRC - Joint Research Centre*, que é financiado pela Comissão Europeia.

Este modelo tem em consideração vários factores que influenciam o desempenho de um sistema fotovoltaico, como a localização geográfica e os respectivos dados climáticos e atmosféricos, nomeadamente a temperatura, o número de horas de céu nublado, ou a irradiação solar global numa superfície. Existe também a possibilidade de se escolherem várias características do sistema fotovoltaico, entre as quais a tecnologia (silício cristalino, CIS ou CdTe), a potência do sistema, a percentagem de perdas em cabos e inversores, opções de seguimento em um ou dois eixos e a orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos.

É assim possível conhecer a média da produção diária de electricidade para qualquer mês, ou o total de electricidade gerada durante um mês ou ano. O modelo também calcula o ângulo ideal de inclinação dos módulos, de modo a maximizar a produção anual de electricidade, sendo que para a latitude da Portela o ângulo óptimo entre o módulo fotovoltaico e a horizontal é de 34º (justifica-se assim o uso de $\alpha = 34^o$ na equação 3.1 e nos seguintes cálculos ou simulações).

A tabela 3.3 mostra a produção média de electricidade (em kWh), diária e mensal, para um sistema fixo de 1 kW de potência, orientado a sul. Na mesma tabela estão presentes os valores de irradiação solar global média (em kWh/m^2) para a Portela, também ao nível diário e mensal. Estes valores obtidos pela simulação tiveram em conta a estimativa efectuada pelo modelo de vários tipos de perdas, nomeadamente devido à temperatura ambiente local (10,5%), efeitos de reflexão (2,6%), e outras perdas

devido a inversores e cabos eléctricos (14%), resultando num total de perdas combinadas de 25,1%.

Mês	Produção média de electrcidade (kWh)		Irradiação solar global média (kWh/m^2)	
	Diária	Mensal	Diária	Mensal
Janeiro	2,76	85,5	3,48	108,0
Fevereiro	2,94	82,3	3,78	106,0
Março	4,13	128,0	5,41	168,0
Abril	4,02	120,0	5,35	161,0
Maio	4,40	136,0	5,92	183,0
Junho	4,58	138,0	6,30	189,0
Julho	4,75	147,0	6,58	204,0
Agosto	4,77	148,0	6,61	205,0
Setembro	4,36	131,0	5,97	179,0
Outubro	3,68	114,0	4,90	152,0
Novembro	2,66	79,8	3,47	104,0
Dezembro	2,51	77,7	3,20	99,2
Média	3,80	116,0	5,09	155,0
Total Anual		1390		1860

Tabela 3.3: Produção média de electricidade (kWh) de um sistema fotovoltaico de 1 kW de potência, e irradiação solar global média (kWh/m^2) na Portela. Valores médios mensais e diários.

Passando agora à determinação da electricidade produzida por sistemas instalados nas coberturas dos edifícios da freguesia da Portela, apresentaremos os resultados de acordo com a divisão anteriormente feita relativamente ao tipo de edifício em que se instalam os sistemas fotovoltaicos. É também importante comparar a quantidade de electricidade produzida pelos módulos fotovoltaicos, com a electricidade consumida quando existe maior produção de electricidade, como nos períodos do dia em que incide radiação solar directa na superfície dos módulos. Esta última situação corresponde a cerca de 80% do total da produção fotovoltaica.

As duas primeiras colunas da tabela 3.4 contêm a produção mensal de electricidade e a respectiva média diária de cada mês (em MWh), para um total de 1996 kW de potência em módulos fotovoltaicos instalados unicamente sobre coberturas de edifícios residenciais. As seis últimas colunas da mesma tabela contêm os dados relativos ao consumo de electricidade no sector doméstico (em MWh), sendo apresentados os valores mensais e as correspondentes médias diárias.

Os valores mensais do consumo de electricidade no sector doméstico foram estimados a partir da tabela 2.2 que possui o consumo total de electricidade detalhado ao mês, para a freguesia da Portela. Comparando com a estimativa do consumo de electricidade apenas no sector doméstico, efectuada na tabela 2.3, é possível afirmar que este representa 74,1% do total da freguesia da Portela. Aplicando esta percentagem a cada mês, têm-se assim uma estimativa do consumo mensal de electricidade no sector doméstico. Tendo em consideração a informação disponível, este método é aquele que fornece a melhor avaliação possível do consumo doméstico mensal.

Quanto ao consumo doméstico de electricidade nos períodos do dia em que existe maior produção de electricidade dos sistemas fotovoltaicos, utilizou-se o mesmo método que para os consumos presentes na tabela 2.2, com as seguintes excepções: apenas se contabilizou a electricidade consumida

Mês	Produção média de electrcidade (MWh)		Consumo de electricidade no sector doméstico (MWh)					
			Total (MWh)			Durante a produção PV (MWh)		
	Diária	Mensal	Diário	Mensal	PV/E (%)	Diário	Mensal	PV/E (%)
Janeiro	5,50	171	50,3	1558	11,0%	20,8	644	26,5%
Fevereiro	5,87	164	43,3	1211	13,5%	20,0	560	29,3%
Março	8,24	255	40,7	1261	20,2%	20,5	636	40,1%
Abril	8,01	240	39,8	1195	20,1%	18,5	555	43,2%
Maio	8,78	272	35,3	1095	24,8%	16,0	495	55,0%
Junho	9,15	274	38,3	1150	23,8%	14,9	448	61,2%
Julho	9,47	294	35,7	1106	26,6%	14,5	450	65,3%
Agosto	9,51	295	32,0	992	29,7%	14,8	460	64,2%
Setembro	8,71	261	36,5	1095	23,8%	21,3	639	40,8%
Outubro	7,34	228	35,4	1097	20,8%	18,9	586	38,9%
Novembro	5,31	159	40,5	1216	13,1%	18,8	565	28,1%
Dezembro	5,00	155	48,8	1513	10,2%	20,1	622	24,9%
Média	7,59	231	39,7	1207	19,8%	18,3	555	43,1%
Total Anual		2770		14489	19,1%		6661	41,6%

Tabela 3.4: Produção média de electricidade (MWh) dos sistemas fotovoltaicos instalados unicamente sobre coberturas de edifícios residenciais. Consumo de electricidade no sector doméstico (MWh).

no intervalo temporal em que a radiação solar incide directamente nos módulos, e os valores mensais obtidos foram multiplicados por 74,1% para representarem o consumo doméstico. Estes dados encontram-se nas três últimas colunas da tabela 3.4. Na mesma tabela está também presente o rácio entre a electricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos e a electricidade consumida, PV/E.

A produção anual de electricidade é de 2770 MWh, o que corresponde a 19,1% do total de electricidade consumida no sector doméstico da freguesia da Portela. Se apenas for considerado o consumo de electricidade durante a produção dos sistemas fotovoltaicos, tem-se um consumo anual de 6661 MWh e deste modo, a produção fotovoltaica cobre 41,6% do consumo doméstico.

De referir que esta percentagem é um valor majorado uma vez que apenas se contabilizou o consumo de electricidade nos períodos do dia em que a radiação solar incide directamente nos módulos fotovoltaicos; caso se considerasse todo o período diurno, o valor de 6661 MWh seria ligeiramente superior. Não existe portanto, a possibilidade de haver um excesso de produção de electricidade no local relativamente à electricidade que é consumida, nem mesmo nos meses de Julho e de Agosto em que o consumo doméstico é menor e a produção fotovoltaica é maior chegando a atingir cerca de 65% do consumo de electricidade doméstico.

Em relação às coberturas dos restantes edifícios da Portela, é possível instalar até um máximo de 1676 kW de potência, o que permite a geração de 2330 MWh de electricidade por ano. Desta forma, o total de electricidade que se pode gerar anualmente em coberturas de edifícios residenciais e não residenciais da freguesia da Portela é de 5090 MWh, o que equivale a 26,0% do total da electricidade consumida nesta zona urbana.

Mês	Edifícios residenciais		Edifícios não residenciais		Total da freguesia		Consumo de electricidade na freguesia da Portela (MWh)					
	Produção média de electricidade (MWh)						Total (MWh)			Durante a produção PV (MWh)		
	Diária	Mensal	Diária	Mensal	Diária	Mensal	Diário	Mensal	PV/E (%)	Diário	Mensal	PV/E (%)
Janeiro	5,50	171	4,62	143	10,1	314	67,8	2102	14,9%	28,0	869	36,1%
Fevereiro	5,87	164	4,93	138	10,8	302	58,4	1634	18,5%	27,0	756	39,9%
Março	8,24	255	6,92	215	15,2	470	54,9	1701	27,6%	27,7	858	54,8%
Abril	8,01	240	6,73	202	14,7	442	53,8	1613	27,4%	25,0	749	59,0%
Maio	8,78	272	7,38	229	16,2	501	47,7	1478	33,9%	21,5	668	75,0%
Junho	9,15	274	7,68	230	16,8	505	51,7	1551	32,5%	20,1	604	83,6%
Julho	9,47	294	7,96	247	17,4	540	48,2	1493	36,2%	19,6	607	88,9%
Agosto	9,51	295	7,99	248	17,5	542	43,2	1338	40,5%	20,0	620	87,4%
Setembro	8,71	261	7,31	219	16,0	481	49,3	1478	32,5%	28,8	863	55,8%
Outubro	7,34	228	6,16	191	13,5	419	47,7	1480	28,3%	25,5	791	53,0%
Novembro	5,31	159	4,46	134	9,8	293	54,7	1641	17,9%	25,4	763	38,4%
Dezembro	5,00	155	4,20	130	9,2	285	65,9	2041	14,0%	27,1	840	33,9%
Média	7,59	231	6,37	194	14,0	425	53,6	1629	27,0%	24,6	749	58,8%
Total Anual		2770		2330		5090		19551	26,0%		8988	56,6%

Tabela 3.5: Produção média de electricidade (MWh) para três casos: sistemas fotovoltaicos instalados sobre coberturas de edifícios residenciais, não residenciais e o o total de ambos os casos. Consumo de electricidade na freguesia da Portela (MWh).

A tabela 3.5 mostra os dados detalhados sobre a produção média de electricidade (em MWh), por parte dos sistemas fotovoltaicos instalados em edifícios residenciais, não residenciais e o total de ambos os casos. Na mesma tabela estão presentes os consumos de electricidade total e no período de produção dos sistemas fotovoltaicos, verificando-se que nesse período a electricidade gerada pelos módulos perfaz 56,6% da electricidade consumida anualmente. Mesmo não existindo a possibilidade de um excesso de produção de electricidade, em certos meses a produção fotovoltaica quase que cobre o consumo de electricidade durante o mesmo período do dia, como é o caso dos meses entre Junho e Agosto, a qual varia entre 83,6% e 88,9% do consumo.

Perante os resultados anteriormente apresentados, tem-se uma produção de electricidade por área útil de 65,3 kWh/m^2, face a um consumo total de 250,7 kWh/m^2 (relativo à área útil), ou seja, garante-se uma produção equivalente a 26% do consumo de electricidade em toda a freguesia.

Os dados até agora expostos representam os valores máximos possíveis de obter na freguesia da Portela, relativamente à potência instalada de módulos fotovoltaicos, e à respectiva electricidade produzida. A obtenção e tratamento dos dados tiveram como principal premissa avaliar o potencial máximo da freguesia para produzir electricidade a partir da tecnologia fotovoltaica, sem que sejam necessárias intervenções estruturais de grande envergadura.

Na tabela 3.6 encontram-se os resultados globais e mais importantes, referentes à produção de electricidade por sistemas fotovoltaicos, e a comparação com o consumo de electricidade na freguesia.

Edifícios	Potência (kW)	Produção média de electricidade (MWh)	Consumo de electricidade (MWh)		PV/E (%)	
			Total	Durante PV	Total	Durante PV
Residenciais	1996	2770	14489	6661	19,1%	41,6%
Não residenciais	1676	2330	5062	2327	46,0%	100,1%
Total	3672	5090	19551	8988	26,0%	56,6%

Tabela 3.6: Resumo dos valores de produção média de electricidade (MWh) dos sistemas fotovoltaicos e do consumo de electricidade na freguesia da Portela (MWh).

Existe uma outra hipótese para a instalação de módulos fotovoltaicos, que consiste em utilizar um conjunto de empenas cegas viradas a sul. A área bruta dessas empenas cegas é de 9172 m^2, sendo a área útil de 7139 m^2. Ao cobrir toda essa área útil com módulos fotovoltaicos, obter-se-ia um total de 4438 unidades, o que corresponde a uma potência instalada de 1021 kW. A produção de sistemas fotovoltaicos com módulos inclinados a 90°é de 862 kWh/kW/ano, logo a produção total anual é de 880 MWh.

A produção anual de 880 MWh corresponde a 31,7% do que é possível produzir a sistemas fotovoltaicos sobre as coberturas dos edifícios residenciais e a 17,3% do total de edifícios considerados. Esta opção não será incluída nos cálculos e resultados que serão apresentados nas secções seguintes.

3.1.4 Custo da electricidade produzida

O custo da electricidade produzida por sistemas fotovoltaicos depende de vários factores, no entanto os mais importantes são os custos de investimento aquando da instalação dos sistemas, e os custos

de operação e manutenção existentes durante a fase de exploração.

O cálculo do custo unitário médio actualizado obtém-se através do quociente entre a soma dos vários encargos (de investimento, de operação e manutenção) e a produção total de electricidade, tudo isto contabilizado ao longo do tempo de funcionamento dos sistemas. Deste modo, a expressão 3.2 permite obter o custo unitário médio actualizado: [43]

$$c_a = \frac{\sum_{i=0}^{n} c_{ai}}{E_a} = \frac{I_t + \sum_{j=0}^{n} \frac{c_{omj}}{(1+a)^j}}{\sum_{j=0}^{n} \frac{E_j}{(1+a)^j}} \tag{3.2}$$

onde c_{ai} representa os diversos encargos actualizados, E_a é a produção total actualizada, I_t é o investimento total o qual se realiza somente no instante inicial, c_{om} são as despesas de operação e manutenção, a é a taxa de actualização, e n é o número de anos em que a central fotovoltaica se encontra em funcionamento.

Um modelo simplificado do que foi exposto anteriormente pode ser obtido caso se assuma que a energia produzida e os custos de operação e manutenção são constantes ao longo da vida útil dos sistemas. Assim a expressão 3.2 fica:

$$c_a = \frac{I_t + c_{om} \sum_{j=0}^{n} \frac{1}{(1+a)^j}}{E \sum_{j=0}^{n} \frac{1}{(1+a)^j}} = \frac{I_t + c_{om} \frac{(1+a)^n - 1}{a\,(1+a)^n}}{E \frac{(1+a)^n - 1}{a\,(1+a)^n}} = \frac{I_t + c_{om} \times k_a}{E \times k_a} = \frac{I_t k_a^{-1} + c_{om}}{E} \tag{3.3}$$

Passando agora ao cálculo do custo médio actualizado da electricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos, os valores necessários à sua determinação encontram-se expostos na tabela 3.7. Esses valores referem-se ao caso em que se explora a capacidade máxima de produção fotovoltaica, isto é, para o total de sistemas fotovoltaicos possíveis de instalar sobre todas as coberturas dos edifícios da Portela (nos outros dois casos, os valores por potência ou electricidade produzida seriam iguais aos da presente tabela, e obter-se-ia o mesmo custo de electricidade).

Potência instalada	3.672	kW
Energia produzida (E)	5.090.000	kWh/ano
Investimento inicial (I_t)	13.038.427	€
por potência instalada	3.551	€/kW
Custos de operação e manutenção (c_{om})	89.920	€/ano
por potência instalada	24,5	€/kW/ano
por energia produzida	0,018	€/kWh/ano
relativo ao investimento inicial	0,69	%
Taxa de actualização (a)	4,0	%
Tempo de vida dos sistemas (n)	20	anos

Tabela 3.7: Resumo das características que influenciam o custo da electricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos.

O custo de investimento por unidade de potência é de 3551 €/kW sendo inferior ao intervalo de custos que normalmente se pratica (entre 4000 e 6000 €/kW). Este facto pode ser justificado se tivermos

em consideração que se está perante uma economia de escala, ou seja, a instalação de uma grande quantidade de sistemas fotovoltaicos possibilita um custo de investimento inicial menor. Os custos de operação e manutenção são de 0,018 €/kWh, estando de acordo com os actuais preços de mercado.

Assim, para uma vida útil dos sistemas de 20 anos, uma taxa de actualização de 4%, e de acordo com a expressão 3.3, o custo médio actualizado da electricidade produzida é de 0,2062 €/kWh.

Existe uma outra forma de calcular o custo da electricidade produzida e que se baseia na determinação dos *cash flows* actualizados e da respectiva taxa interna de rentabilidade. Durante o período de vida útil dos sistemas fotovoltaicos, calculam-se anualmente as receitas provenientes da venda da electricidade produzida e os custos de operação e manutenção, de modo a se obterem os *cash flows* actualizados. O valor de venda da electricidade usado no cálculo das receitas anuais equivalerá ao custo da electricidade produzida, quando a taxa interna de rentabilidade for nula.

Neste caso, de modo a se ter um modelo mais próximo da realidade e que tenha em conta o envelhecimento dos sistemas fotovoltaicos, impõem-se duas condições necessárias: a electricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos diminui 0,8% por ano, e as despesas de operação e manutenção aumentam 2% ao ano. A tabela 3.8 contém, para um período de 20 anos, as receitas da venda de electricidade, os custos com manutenção e operação, os *cash flows* actualizados calculados com uma taxa de actualização de 4%, e o capital em dívida. Os custos de O&M no primeiro ano, e o investimento inicial estão de acordo com os valores presentes na tabela 3.7

Ano	Receitas (€)	Custos de O&M (€)	*Cash Flows* actualizados (€)	Capital em dívida (€)
0	-			-13.038.427,44
1	1.137.330,47	89.920,19	1.007.125,27	-12.031.302,17
2	1.128.231,83	91.718,59	958.314,75	-11.072.987,42
3	1.119.205,97	93.552,96	911.801,79	-10.161.185,63
4	1.110.252,32	95.424,02	867.479,48	-9.293.706,15
5	1.101.370,30	97.332,50	825.245,88	-8.468.460,26
6	1.092.559,34	99.279,15	785.003,76	-7.683.456,50
7	1.083.818,87	101.264,74	746.660,39	-6.936.796,12
8	1.075.148,32	103.290,03	710.127,33	-6.226.668,79
9	1.066.547,13	105.355,83	675.320,26	-5.551.348,53
10	1.058.014,75	107.462,95	642.158,74	-4.909.189,80
11	1.049.550,63	109.612,21	610.566,08	-4.298.623,72
12	1.041.154,23	111.804,45	580.469,13	-3.718.154,59
13	1.032.825,00	114.040,54	551.798,13	-3.166.356,46
14	1.024.562,40	116.321,35	524.486,57	-2.641.869,88
15	1.016.365,90	118.647,78	498.471,00	-2.143.398,88
16	1.008.234,97	121.020,74	473.690,93	-1.669.707,95
17	1.000.169,09	123.441,15	450.088,67	-1.219.619,28
18	992.167,74	125.909,97	427.609,19	-792.010,09
19	984.230,40	128.428,17	406.200,04	-385.810,05
20	976.356,55	130.996,74	385.811,18	1,14
Total	21.098.096,19	2.184.824,09	13.038.428,57	-

Tabela 3.8: Cálculo dos *cash flows* actualizados, com base num preço de venda da electricidade que anule a taxa interna de rentabilidade.

A tabela 3.8 foi criada em folha de *Excel*, e por isso foi bastante fácil determinar o preço de venda de

electricidade que torna a taxa interna de rentabilidade nula, sendo que os valores da presente tabela se referem a esse caso particular. Assim, o preço de venda representa o custo da electricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos, e é de 0,2234 €/kWh.

3.1.5 Vantagens

É possível enumerar diversas vantagens para a produção descentralizada de electricidade, tais como vantagens ambientais, económicas ou sociais. A produção de electricidade junto do local de consumo pode potenciar a consciencialização da população para temáticas importantes como a poupança de energia, e o desenvolvimento de fontes de energia renovável. Também se poderá enquadrar num projecto de maior dimensão, de modo a se conhecer com um detalhe extremo a realidade energética de uma área urbana, e assim se implementarem profundas medidas de eficiência energética e de redução do consumo de energia.

No presente estudo, embora não se tenham todas as vantagens provenientes de uma intervenção mais abrangente a nível energético, já é possível obterem-se alguns benefícios ambientais e económicos. A nível ambiental tem-se uma redução das emissões de CO_2, uma vez que a produção de electricidade por parte dos sistemas fotovoltaicos não emite este poluente e substitui parte da electricidade consumida proveniente da rede de distribuição eléctrica.

Na tabela 3.9 encontram-se as emissões de CO_2 que são evitadas devido à produção dos sistemas fotovoltaicos. Os resultados foram obtidos com base no valor da emissão específica de dióxido de carbono do sistema electroprodutor português, que é de 387,9 g/kWh para o ano de 2008. Os dados estão detalhados ao mês e divididos consoante o tipo de edifícios onde se instalam os sistemas, sendo também apresentadas as reduções nas emissões em percentagem.

Mês	Edifícios residenciais		Edifícios não residenciais		Total da freguesia	
	CO_2 não emitido (t) e redução das emissões (%)					
Janeiro	66,3	11,0%	55,5	26,3%	121,8	14,9%
Fevereiro	63,6	13,5%	53,5	32,6%	117,1	18,5%
Março	98,9	20,2%	83,4	48,8%	182,3	27,6%
Abril	93,1	20,1%	78,4	48,4%	171,5	27,4%
Maio	105,5	24,8%	88,8	59,8%	194,3	33,9%
Junho	106,3	23,8%	89,2	57,3%	195,9	32,5%
Julho	114,0	26,6%	95,8	63,9%	209,5	36,2%
Agosto	114,4	29,7%	96,2	71,6%	210,2	40,5%
Setembro	101,2	23,8%	85,0	57,2%	186,6	32,5%
Outubro	88,4	20,8%	74,1	49,8%	162,5	28,3%
Novembro	61,7	13,1%	52,0	31,5%	113,7	17,9%
Dezembro	60,1	10,2%	50,4	24,6%	110,6	14,0%
Média	89,5	19,8%	75,2	47,7%	164,7	27,0%
Total Anual	1073,7	19,1%	902,3	45,9%	1976,0	26,1%

Tabela 3.9: Contabilização da quantidade do CO_2 não emitido devido à produção de electricidade a partir de sistemas fotovoltaicos.

Deste modo a produção de um total anual de 5090 MWh de electricidade a partir de sistemas

fotovoltaicos evita a emissão de 1976 t de CO_2. Isto significa que apenas pela via da produção de electricidade recorrendo a uma fonte renovável, é possível reduzir as emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de electricidade na freguesia até um máximo de 26,1%.

O preço da tonelada de CO_2 é um valor que varia conforme os preços do mercado, sendo o dióxido de carbono tratado como um bem transaccionável. O preço da tonelada assume uma cotação consoante os diversos mercados (Europeu, EUA), havendo também diferentes cotações para quotas de emissões que se realizem no presente ou no futuro. Desde 2008, o valor da tonelada de CO_2 tem variado aproximadamente entre 30 e 10 €/t, encontrando-se em 2010 num valor próximo de 15 €/t. Isto significa que ao se evitar a emissão de 1976 t está-se perante um ganho "virtual" de cerca de 30 mil €, sendo que uma forma de se obter uma real remuneração pelo CO_2 não emitido se encontra descrita a seguir.

A nível económico é possível realizar a venda à rede da electricidade produzida, de acordo com o Decreto Lei n.º 225/2007, de 31 de Maio, o qual se encontra descrito no Anexo A. Este Decreto Lei estabelece as condições e as variáveis que influenciam o valor a ser pago pela electricidade vendida à rede pública. No entanto, para que tal se verifique é necessário que a freguesia e todo o conjunto de sistemas fotovoltaicos seja licenciado como um Produtor em Regime Especial, sendo tais procedimentos administrativos e de licenciamento da responsabilidade da Direcção Geral de Energia e Geologia.

Supondo que todos os requisitos técnicos e administrativos são cumpridos, e que se consegue ter a freguesia da Portela a produzir electricidade em regime especial, determinou-se a remuneração mensal da electricidade fornecida à rede, de acordo com a expressão A-1. Os resultados detalhados ao mês e a cada parcela da expressão encontram-se nas tabelas A-1, A-2 e A-3, as quais se referem a sistemas fotovoltaicos instalados apenas sobre coberturas de edifícios residenciais, de edifícios não residenciais, e para o total dos edifícios da freguesia, respectivamente.

Em todos os casos, como se está perante a mesma tecnologia, havendo apenas uma diferença na potência dos sistemas fotovoltaicos e consequentemente da electricidade produzida, a remuneração média anual por unidade de electricidade produzida é praticamente a mesma, e toma o valor de 0,42 €/kWh. Caso se utilize este valor no cálculo das receitas anuais da venda de electricidade, na elaboração de uma tabela semelhante à tab. 3.8, obtém-se uma taxa interna de rentabilidade de 9,54% e o tempo de retorno do investimento é de oito anos. Isto significa que a produção em regime especial garante uma maior atractividade económica, nos casos em que o custo de produção de electricidade é superior ao preço de venda do mercado.

Na situação em que se explora a capacidade máxima de produção de electricidade, tem-se uma produção anual de 5090 MWh, a que corresponde uma remuneração total de 2,16 milhões de € por ano. Deste modo, coloca-se a questão de como distribuir essa quantia monetária pelos, habitantes, empresas e outras entidade que se encontram na freguesia da Portela, tanto mais que a distribuição do número de módulos pelas coberturas dos edifícios não é homogénea.

Uma solução para este caso seria criar uma ESCO (*Energy Service Company*), ou seja, uma empresa que acompanhasse todos os processos desde a fase de estudos até à implementação e gestão dos sistemas, no entanto, não é objectivo do presente estudo a discussão e análise de tal opção.

3.1.6 Conclusões

Os resultados anteriormente apresentados, demonstram que a freguesia da Portela possui um grande potencial para a geração de electricidade a partir de sistemas fotovoltaicos.

Os melhores locais para a instalação de módulos fotovoltaicos são as coberturas dos edifícios, havendo um total de 110327 m^2 de área bruta, da qual apenas 77996 m^2 se considera como área útil, tendo-se uma área útil média por edifício residencial de 174 m^2 e de 830 m^2 para edifícios não residenciais.

De modo a maximizar a produção de electricidade requer-se que a distribuição dos módulos fotovoltaicos seja feita em sucessivas filas que distam entre si 3,88 m. Isto resulta num rácio entre a área de módulos fotovoltaicos e a área disponível para instalação de 33%.

Assim, a potência máxima possível de instalar nas coberturas dos edifícios da Portela é de 3672 kW, sendo 1996 kW em edifícios residenciais e 1676 kW nos restantes. Tem-se assim uma média de 47 W/m^2 de potência instalada.

Uma potência instalada de 3672 kW permite a produção de 5090 MWh/ano, o que corresponde a 26,0% do total de electricidade consumida na freguesia, e 56,6% da electricidade consumida durante o período em que incide radiação solar directa nos módulos. Em média tem-se uma produção de electricidade por área útil de 65,3 kWh/m^2, face a um consumo total de 250,7 kWh/m^2. A nível residencial a produção fotovoltaica é de 2770 MWh/ano, equivalente a 19,1% do consumo doméstico total.

O custo da electricidade produzida pode atingir os 0,2062 €/kWh, tendo em consideração uma taxa de actualização de 4% durante os 20 anos de vida útil dos sistemas, um custo de investimento de 3551 €/kW, e custos de operação e manutenção de 24,5 €/kW. No caso de se considerar anualmente, um aumento de 2% dos custos de operação e manutenção e uma diminuição de 0,8% na electricidade produzida, o custo da electricidade passa para 0,2234 €/kWh.

A produção fotovoltaica de 5090 MWh permite evitar a emissão anual de 1976 t de CO_2, havendo uma outra vantagem caso seja possível a produção em regime especial, que é a venda da electricidade à rede pública a um preço de 0,4232 €/kWh. Tal facto possibilitaria uma taxa interna de rentabilidade de 9,54% e um tempo de retorno do investimento de oito anos.

Os dados apresentados e os resultados obtidos anteriormente são válidos nas condições descritas. O objectivo consistiu em avaliar o potencial máximo de produção de electricidade a partir da tecnologia fotovoltaica, sem requerer alterações profundas do edificado da freguesia.

3.2 Eólica

A exploração da energia eólica em meio urbano não se encontra tão desenvolvida como é o caso do solar fotovoltaico ou térmico. O facto da tecnologia de mini-eólicas ainda se encontrar em desenvolvimento, conjuntamente com a falta de dados sobre o recurso eólico disponível em meio urbano, justificam a escassa difusão de pequenas turbinas eólicas em zonas habitadas.

No entanto, existem projectos como o *WINEUR - Wind Energy Integration in the Urban Environment* [44], financiado pelo programa *Intelligent Energy* da Comissão Europeia, e que tem os seguintes

objectivos: identificar as condições necessárias para a integração de pequenas turbinas eólicas em meio urbano, promover esta tecnologia como uma opção para a produção de electricidade, e melhorar a aceitação social e estética de modo a incluir esta tecnologia nos planos de desenvolvimento urbano dos municípios.

Será assim interessante e até importante avaliar o potencial da freguesia para a produção de electricidade a partir de mini-turbinas eólicas. Embora não existam dados sobre a disponibilidade do recurso eólico na freguesia, nem informação sobre a turbulência causada pelo edificado, é possível chegar a resultados aproximados, o que permitiu estabelecer algumas conclusões sobre a viabilidade de implementação deste tipo de microgeração.

3.2.1 Determinação da potência eólica

A instalação de pequenas turbinas eólicas deverá ser feita preferencialmente na cobertura dos edifícios, de modo a se ter menos turbulência e um maior recurso eólico. A grande maioria dos edifícios residenciais da freguesia possui uma altura elevada, sendo que dos 255 edifícios residenciais, 175 tem 10 ou mais pisos.

Como se pode observar em imagens aéreas da freguesia, assim como no modelo a 3 dimensões (ver figura 3.1), a zona da freguesia em torno do centro comercial é composta maioritariamente por edifícios residenciais, com coberturas a cerca de 30 metros do solo. Os edifícios não residenciais têm em média entre 2 a 3 andares, estando por isso sujeitos a maior turbulência.

Dado não se conhecerem quais os efeitos específicos do presente edificado sobre o vento na zona urbana da Portela, a melhor opção será assumir que apenas se instalam turbinas em coberturas de edifícios altos e sem obstáculos próximos, de modo a se obterem resultados credíveis. Partindo desta premissa, existem 205 edifícios residenciais onde é aceitável a instalação de turbinas eólicas.

Tendo em conta o espaço disponível por cobertura de edifício, e de modo a evitar que as turbinas estejam muito próximas entre si (para que não haja turbinas que fiquem na direcção do fluxo de ar que passou por outras), impõe-se um máximo de uma turbina por edifício. Outro factor que influencia a distribuição das turbinas é a presença dos sistemas fotovoltaicos, uma vez não podem ficar à sombra destas.

De acordo com as condicionantes anteriormente mencionadas, os edifícios residenciais que se encontram isolados, isto é, sem outros adjacentes, e os que estão em bandas orientadas no sentido este-oeste (conjuntos de edifícios que na figura 2.1 estão na horizontal), podem ter uma turbina por edifício, localizada na zona da cobertura mais a norte, de modo a não causar sombra nos módulos fotovoltaicos. Pela mesma razão, os restantes edifícios que se dispõem em bandas no sentido norte-sul não podem ter turbinas eólicas, à excepção do edifício mais a norte de cada uma dessas bandas. De referir que se excluíram 14 edifícios na zona sul da freguesia, por estes serem de menor altura relativamente a edifícios próximos.

Assim, pode-se instalar um total de 140 pequenas turbinas eólicas sobre as coberturas de edifícios residenciais da Portela.

É agora necessário escolher uma turbina eólica, de modo a se determinar a potência instalada e a

electricidade produzida anualmente. Dada a enorme variedade de modelos presentes no mercado e a ampla gama de características associadas, desde potência nominal entre 0,1 e 15 kW, diâmetro do rotor de 1 a 10 m, entre outras, a escolha de um modelo específico irá particularizar os resultados. No entanto, as importantes conclusões obtidas permitirão chegar a um panorama sobre o aproveitamento da energia eólica na Portela. Naturalmente, os métodos usados também são válidos para qualquer outra turbina.

Optou-se pela mini-turbina eólica *T.Urban*, desenvolvida pelo LNEG. Trata-se de uma turbina de elevada eficiência e baixo custo, criada especialmente para operar em ambiente urbano, e com ligação à rede. É uma turbina de eixo horizontal, tem uma potência nominal de 2,5 kW, o rotor é de velocidade variável e tem um diâmetro de 2,3 m, apresentando assim uma óptima relação entre potência e área do rotor. A curva de potência de saída em função da velocidade do vento encontra-se representada na figura 3.3.
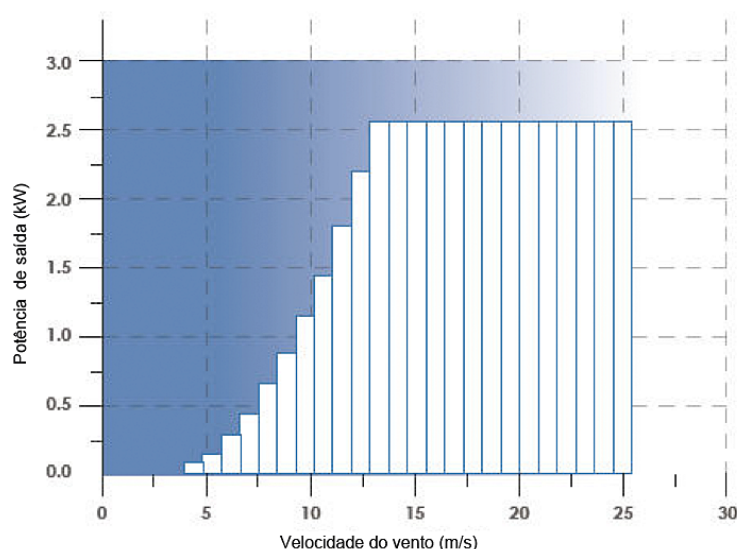
Figura 3.3: Curva de potência de saída em função da velocidade do vento, para a turbina *T.Urban*.[45]

A escolha desta turbina deve-se sobretudo aos seguintes factores: ser um produto desenvolvido por um laboratório nacional, o que possibilita estabelecer uma relação cooperação no sentido de se monitorizar em detalhe o funcionamento das turbinas em ambiente real. Permite também a recolha de informação mais detalhada sobre o recurso eólico disponível no local, a existência de dados e informação fiável sobre a turbina, o baixo ruído de operação e a fácil integração em edifícios devido ao seu diâmetro de apenas 2,3 m. Estas características implicam uma simplicidade de instalação estrutural e eléctrica.

Deste modo, a instalação de 140 turbinas *T.Urban* sobre as coberturas dos mais elevados edifícios residenciais da freguesia Portela, torna possível a constituição de um parque eólico urbano com uma potência instalada de 350 kW.

3.2.2 Cálculo da electricidade produzida

A quantidade de electricidade produzida por uma turbina eólica depende de dois factores: das características da turbina, nomeadamente da sua potência em função da velocidade do vento, e da distribuição da velocidade do vento no local de operação da turbina. [46]

A distribuição da velocidade do vento num dado local pode ser representada pela função de Weibull, ou seja, a probabilidade da velocidade do vento exceder um certo valor u, é dada pela expressão 3.4:

$$F(u) = \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right] \tag{3.4}$$

onde c, denominado factor de escala, é um factor que depende da velocidade média anual do vento, $\bar{u}$, e obtém-se a partir de:

$$c = \frac{\bar{u}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \tag{3.5}$$

onde Γ é a função gama e k é um factor de forma. O valor de k descreve a variabilidade em torno da velocidade média do vento, isto é, quanto maior o valor de k, menor é a variação da velocidade média horária do vento relativamente à média anual.

A função densidade de probabilidade da velocidade do vento é o módulo da derivada da equação 3.4, em ordem a u

$$f(u) = k\frac{u^{k-1}}{c^k}\exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right] \tag{3.6}$$

o que permite conhecer a proporção de tempo em que a velocidade u irá ocorrer.

A função de Weibull tem demonstrado ser uma boa representação da variação horária da velocidade média do vento, em muitos locais típicos, especialmente em locais onde não existam longos períodos de tempo sem vento e onde a velocidade média anual do vento é superior a 4 m/s.

A electricidade produzida por uma turbina eólica durante um período de tempo T, em horas, é então dada por:

$$E = T\int_0^{u_m} P(u)\, f(u)\ \mathrm{d}u \tag{3.7}$$

onde $P(u)$ é a curva de potência em função da velocidade do vento de uma turbina e u_m é a velocidade máxima de funcionamento da turbina, normalmente 25 m/s.

O valor da velocidade média anual do vento pode ser obtido através da consulta do Atlas Eólico desenvolvido pelo LNEG. [47] A sua criação deveu-se ao facto de apenas existir uma base de dados pontual com medidas efectuadas em quase 20 estações anemométricas (base de dados EOLOS) [48], não permitindo a cobertura da globalidade do território. A geração de mapas representativos do potencial eólico de uma grande região só é possível recorrendo a modelos numéricos de mesoscala, dado que é necessário simular vários processos físicos associados à atmosfera, ao clima e à orografia.

Na figura 3.4 encontram-se dois mapas com a velocidade média anual do vento para a zona metropolitana de Lisboa e região Oeste e um mapa detalhado de Lisboa e estuário do Tejo. Com base no mapa à esquerda, constata-se que a velocidade média anual na zona da Portela tem um valor entre 5,5 e 6,5 m/s. O mapa à direita é específico à cidade de Lisboa e freguesias adjacentes, a partir dele
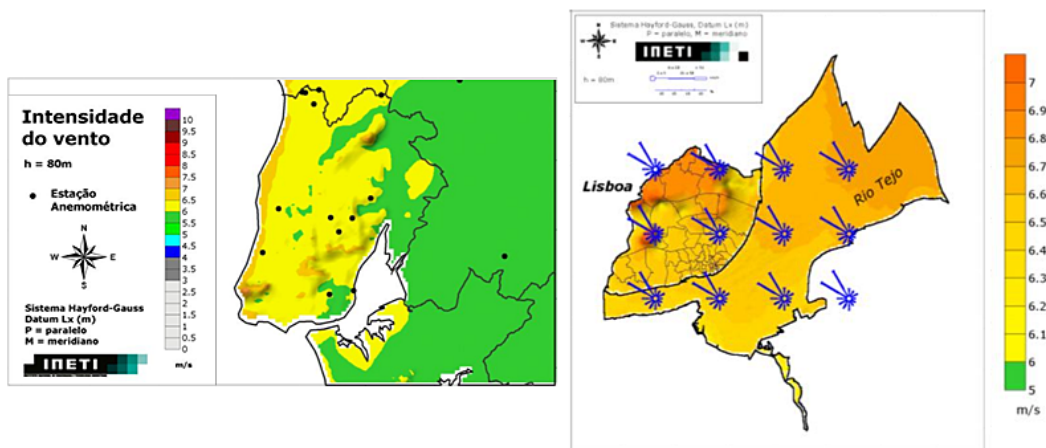
Figura 3.4: Velocidade média anual do vento para a zona Oeste (mapa à esquerda) e cidade de Lisboa e estuário do Tejo (mapa à direita).

chega-se a dois resultados: a velocidade média anual do vento, na Portela, está entre 6,0 e 6,2 m/s e a sua direcção predominante encontra-se no quadrante norte-oeste.

Quanto a valor de k, não existem dados que o permitam determinar, isto é, não se possui a distribuição de frequências da velocidade do vento no local para poder ajustar a equação 3.6 a esses resultados e assim obter k. As duas estações anemométricas mais próximas da freguesia da Portela para as quais existem dados acumulados publicados encontram-se a algumas dezenas de quilómetros: são as estações de S. João das Lampas e a de Arruda dos Vinhos. Elas possuem valores de k de 2,04 e 2,48, respectivamente [48]. As restantes estações anemométricas da base de dados EOLOS possuem valores de k entre 1,63 e 2,66. Assume-se para a Portela $k = 2$, uma vez que é uma valor adequado para muitos locais.

Na figura 3.5 encontram-se os gráficos da função 3.6, e do produto $P(u)\,f(u)$, sendo $P(u)$ a curva de potência da turbina *T.Urban*.
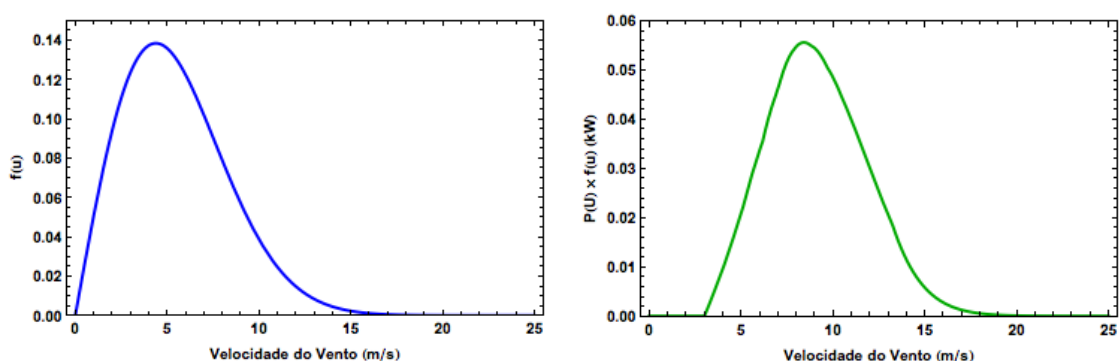
Figura 3.5: Gráfico da densidade de probabilidade da velocidade do vento (a azul), com $k = 2$ e $\bar{u} = 5,5$ m/s, e gráfico do produto $P(u)\,f(u)$ (a verde).

Optou-se por traçar a função 3.6 com uma velocidade média anual do vento de 5,5 m/s, consistindo assim numa estimativa conservadora, uma vez que os resultados obtidos com modelos numéricos de mesoscala (ver figur 3.4) não têm em consideração os efeitos do edificado da freguesia. É expectável

que um dos principais efeitos do edificado seja a redução do valor de $\bar{u}$.

A electricidade produzida anualmente por uma turbina é então dada pelo integral da função $P(u)\,f(u)$ a multiplicar pelo número de hora num ano, $T = 24 \times 365$. No presente caso obtém-se o valor de 3344,5 kWh. Logo, este parque eólico urbano composto por 140 turbinas *T.Urban* terá uma produção de electricidade de 468,2 MWh por ano.

A produção anual desta quantidade de electricidade equivale a 3,23% do consumo residencial e 2,39% do consumo total da freguesia da Portela. Trata-se de valores bastante significativos tendo em conta que o número de turbinas instaladas na freguesia não é muito elevado, que há turbinas apenas sobre edifícios residenciais e que a velocidade média anual do vento usada nos cálculos é uma estimativa conservadora.

É possível considerar outros modelos de mini-turbinas eólicas existentes no mercado e calcular a sua produção anual de electricidade usando o método anteriormente descrito. A tabela 3.10 mostra a título de exemplo e de comparação com o modelo *T.Urban*, várias características de algumas mini-turbinas eólicas e a respectiva produção de electricidade anual para as condições já descritas.

Modelo	Tipo	Potência (kW)	⌀ do rotor (m)	Rácio Pot./⌀do rotor (kW/m)	Produção média de electricidade (MWh)	Eólica/E (%)
Winddam	VAWT	2,0	2,6	0,78	440,65	3,04
Turby	VAWT	2,5	2,0	1,25	380,67	2,63
T.Urban	HAWT	2,5	2,3	1,09	468,23	3,23
Tulipower	HAWT	2,5	5,0	0,50	1163,09	8,03
Ecofys	VAWT	3,0	2,8	1,07	470,59	3,25
Ropatec	VAWT	3,0	3,3	0,91	314,65	2,17
Fortis	HAWT	5,6	5,0	1,12	1054,69	7,28
Ropatec	VAWT	6,0	4,7	1,28	556,69	3,84
Eoltec	HAWT	6,0	5,6	1,07	1688,32	11,65

Tabela 3.10: Características de várias mini-turbinas eólicas (tipo de turbina, potência nominal, diâmetro do rotor) e produção anual de electricidade total (MWh) e em percentagem do consumo doméstico.

3.2.3 Custo da electricidade produzida

O cálculo do custo médio actualizado da electricidade produzida pelo parque eólico urbano pode ser realizado recorrendo à expressão 3.3. Neste caso, o procedimento é exactamente igual ao já exposto aquando do cálculo do custo da electricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos (ver tabela 3.7): o investimento é realizado no momento inicial, e a energia produzida e os custos de operação e manutenção são constantes ao longo da vida útil das turbinas.

A tabela 3.11 contém os dados referentes ao parque eólico urbano composto por 140 turbinas *T.Urban* e a comparação com o modelo de 5,6 kW da marca *Fortis*.

O custo de cada turbina *T.Urban* é de 7000 €, o que resulta num custo por unidade de potência de 2800 €/kW. Quanto aos custos de operação e de manutenção, estes representam 1,5 % do valor de investimento inicial, o que é comum em muitos parques eólicos.

Modelo	T.Urban	Fortis	
Potência instalada	350	784	kW
Energia produzida (E)	468.230	1.054.693	kWh/ano
Investimento inicial (I_t)	980.000	2.591.130	€
por potência instalada	2.800	3.305	€/kW
Custos de operação e manutenção (c_{om})	14.700	32.928	€/ano
por potência instalada	42,0	42,0	€/kW/ano
por energia produzida	0,031	0,031	€/kWh/ano
relativo ao investimento inicial	1,50	1,27	%
Taxa de actualização (a)	4,0	4,0	%
Tempo de vida das turbinas (n)	20	20	anos

Tabela 3.11: Resumo das características que influenciam o custo da electricidade produzida pelas turbinas eólicas.

Assim, para um período de vida útil do equipamento de 20 anos e com uma taxa de actualização de 4%, o custo médio actualizado da electricidade produzida pelas 140 turbinas *T.Urban* é de 0,1854 €/kWh. No caso da turbina *Fortis* o custo médio actualizado da electricidade seria de 0,2120 €/kWh.

Os resultados apresentados nas subsecções seguintes restringem-se ao modelo *T.Urban*.

3.2.4 Vantagens

A produção de 468,2 MWh de electricidade a partir de uma fonte renovável e não poluente permite evitar a emissão de 181,6 t de CO_2, traduzindo-se num ganho "virtual" de 2724 € (com o preço do dióxido de carbono em 15 €/t).

Quanto à produção em regime especial (ver Anexo A), não é possível realizar cálculos exactos e de acordo com a realidade do local, dado que a expressão A-1 só é válida num base mensal, enquanto que o método de cálculo da electricidade produzida, descrito anteriormente e fundamentado pelas equações 3.6 e 3.7, apenas permite obter valores numa base anual.

Supor que a electricidade produzida mensalmente tem sempre o mesmo valor e que esse valor mensal é igual a um doze avos do valor anual calculado anteriormente, seria uma aproximação bastante grosseira, dado que a equação 3.6 foi usada para prever a variabilidade anual da velocidade do vento. E mesmo que se supusesse tal aproximação para se realizar o cálculo da remuneração mensal na produção em regime especial, o valor médio obtido seria de 0,074 €/kWh por mês.

Trata-se de um valor muito reduzido, inferior ao valor de mercado da electricidade no consumidor, e que se deve sobretudo à legislação que atribui para toda a tecnologia eólica um valor de Z igual a 4,6. Este valor do coeficiente de tecnologia é somente adequado para turbinas com elevada potência (da ordem dos MW), onde o preço por unidade de potência instalada é muito inferior ao valor que se verifica no segmento das mini-turbinas eólicas e a quantidade de electricidade produzida é muito superior.

Existem outras vantagens, como o facto da instalação de um parque eólico urbano ser pioneira no país, o que no presente caso, poderá contribuir para a investigação e desenvolvimento ao nível dos equipamentos e também no estudo do potencial eólico em meio urbano.

3.2.5 Conclusões

Os resultados obtidos, evidenciam que é bastante credível a possibilidade de se produzir electricidade a partir de turbinas eólicas instaladas em meio urbano.

No entanto, para garantir uma maior produção de electricidade e a coerência dos cálculos, foi necessário impor condições na instalação das turbinas: apenas se consideraram as coberturas dos edifícios residenciais de maior altura, instalando-se uma turbina por edifício. Evitou-se assim provocar sombra nos sistemas fotovoltaicos. Garantiu-se também que as turbinas têm um maior recurso eólico disponível, minimizando-se a turbulência causada por obstáculos.

A turbina eólica escolhida neste estudo foi o modelo *T.Urban*, desenvolvida pelo LNEG, que tem 2,5 kW de potência nominal e um rotor de 2,3 m, apresentando uma elevada eficiência e uma óptima relação entre potência e área do rotor.

Deste modo, conclui-se que é possível instalar um total de 140 turbinas *T.Urban*, o que constitui um parque eólico urbano com uma potência instalada de 350 kW.

A distribuição de frequências da velocidade do vento não é conhecida, uma vez que não existem dados recolhidos no local, e por essa razão foi necessário recorrer à função de Weibull para se obter a densidade de probabilidade da velocidade do vento. A adequação dos resultados à realidade depende somente dos valores que foram escolhidos para a velocidade média do vento, $\bar{u} = 5,5$ m/s e para o factor de forma, $k = 2$, sendo que a sua escolha se baseou nos dados disponíveis.

Este parque eólico urbano tem uma produção anual de 468,2 MWh, o que representa 3,23% do consumo de electricidade do sector doméstico da freguesia da Portela. O custo da electricidade produzida é de 0,1854 €/kWh, calculado com base numa taxa de actualização de 4% durante os 20 anos de vida útil das turbinas, um custo de investimento de 2800 €/kW, e custos de operação e manutenção de 42,0 €/kW. O valor da remuneração em PRE, caso se fizesse a aproximação descrita anteriormente, seria de 0,074 €/kWh por mês.

A produção de 468,2 MWh permite evitar a emissão anual de 181,6 t de CO_2. Outra vantagem consiste no facto de um parque eólico em meio urbano possibilitar a investigação e o desenvolvimento na área das mini-turbinas eólicas.

3.3 Outras fontes

Seria possível a instalação de painéis solares térmicos para a produção de calor ou água quente, no entanto optou-se por não explorar e aprofundar esta opção devido a duas razões: pretendeu-se determinar o máximo de electricidade produzida a partir da tecnologia fotovoltaica e o solar térmico requeria a realização de obras nos edifícios para a instalação de condutas de transporte de água quente até às habitações.

Outras fontes de energia renovável podem ser instaladas na freguesia da Portela, mas requerem à partida alterações ao nível das infra-estruturas e do edificado da freguesia.

Uma hipótese consistiria na produção de electricidade a partir de mini-turbinas hídricas instaladas na rede de abastecimento de água potável da freguesia. Outra alternativa seria a instalação de sistemas

de produção combinada de electricidade e calor, tendo como fonte de energia a biomassa (restos florestais, biogás obtido a partir de resíduos orgânicos, entre outros). De referir que a freguesia da Portela já possui um sistema de recolha de resíduos orgânicos, apresentando bons resultados, tendo a maior taxa de recolha do concelho de Loures.

No primeiro caso, uma vez que a pressão da água nas condutas é reduzida (inferior a 5 m.c.a. em muitas zonas) não é possível a instalação de turbinas hídricas. Como o abastecimento de água na Portela é feito graviticamente, a partir de um depósito situado no local mais alto da freguesia, a pressão nas condutas não é muito elevada. Devido à elevada altura de muitos prédios da freguesia são necessárias para estes bombas hidropressoras, de modo a garantir que a água atinge os andares superiores.

Aumentar a pressão nas condutas de água de modo a se poderem instalar turbinas e a dispensar o uso de hidropressores não seria uma solução viável, dado que as condutas em fibrocimento não suportariam tal aumento de pressão e acabariam por ceder. A única hipótese seria, aquando de uma possível substituição das actuais condutas de abastecimento de água, dimensionar todo sistema para permitir a instalação de mini-turbinas hídricas e evitar o uso de bombas hidropressoras. Nesse caso, para além de se produzir electricidade, estar-se-ia também a reduzir o consumo de electricidade da freguesia. Esta solução é dispendiosa, uma vez que a sua implementação requer a substituição da condutas de abastecimento de água, sendo necessário uma análise detalhada da relação entre custos e benefícios.

A segunda hipótese seria a produção de electricidade e calor através de um sistema em co-geração que use uma fonte renovável como combustível. Neste caso existem duas opções: ou instalar-se-iam pequenos geradores por cada prédio, ou então uma única central de produção de calor e electricidade e o respectivo sistema de distribuição de calor pelos edifícios da freguesia (solução semelhante à existente em muitos países da Europa, e designada por *district heating*).

A freguesia da Portela possui uma considerável necessidade de aquecimento, como se pode constatar pelo maior consumo de electricidade ocorrido nos meses de inverno (ver figura 2.6), sendo a solução apresentada anteriormente uma forma de baixar o consumo de electricidade e as emissões de CO_2 associadas. Esta solução será dispendiosa e difícil de implementar, dado que é necessário a instalação de tubagens para o transporte de calor no interior e exterior dos edifícios.

Todas estas opções aqui expostas para a produção de electricidade e calor a partir de fontes renováveis, ao requererem profundas obras ao nível dos edifícios e das infra-estruturas da freguesia, têm assim os seus custos de implementação aumentados. No caso da produção de electricidade a partir de turbinas hídricas, uma forma de evitar esses custos, seria aproveitar uma eventual e necessária substituição do sistema de condutas de abastecimento de água da freguesia, para se proceder à sua instalação, caso se verifique a sua viabilidade económica.

Como a implementação destas fontes de energia renovável necessita de uma maior intervenção na freguesia, o que implica mais incerteza nos dados e a necessidade de se realizarem muitas suposições para se obterem resultados, optou-se por não aprofundar o seu estudo de implementação na freguesia.

Um estudo detalhado sobre estas fontes e que seja fiel à realidade da freguesia, só será credível se

for baseado num plano sobre as alterações necessárias a efectuar às infra-estruturas e ao edificado. Como a elaboração de tal plano não se enquadra no presente trabalho, justifica-se assim a opção em não aprofundar os resultados sobre a implementação destas duas fontes de energia renovável.

3.4 Integração conjunta de fontes de energia renovável

Os resultados anteriormente apresentados demonstraram que existe um grande potencial para a produção de electricidade a partir de fontes de energia renovável, como o solar fotovoltaico ou a eólica. Em conjunto, esta duas tecnologias podem produzir até 5558 MWh por ano, o que corresponde a 28,4 % do consumo de electricidade da freguesia da Portela. Esta electricidade produzida permite evitar a emissão anual de 2158 t de CO_2.

A principal dificuldade na avaliação do potencial de produção de electricidade, reside nas próprias características dos edifícios e na sua disposição espacial: nem toda a área de cobertura pode ser usada para a instalação de sistemas fotovoltaicos devido a sombras e obstáculos e só foi considerada a instalação de turbinas eólicas nos edifícios residenciais mais elevados da freguesia. De acordo com os procedimentos já descritos, é possível instalar um máximo de 15964 módulos fotovoltaicos sobre as coberturas dos edifícios da freguesia e um total de 140 turbinas eólicas, uma por cada cobertura de edifício residencial com as melhores condições.

Deste modo, ao nível da potência instalada, têm-se aproximadamente uma relação entre o solar fotovoltaico e a eólica de 10 para 1, ou seja, a máxima potência fotovoltaica que se pode instalar nas coberturas é de 3672 kW, enquanto que se tem 350 kW de potência em turbinas eólicas.

A tabela 3.12 contém, de forma resumida, os resultados mais importantes sobre a implementação de fontes de energia renovável na freguesia da Portela.

Tecnologia renovável	N.º de unidades	Potência (kW)	Electricidade Produção (MWh)	Custo (€/kWh)	Consumo (%)	CO_2 não emitido (t)
Fotovoltaico	**15964**	**3672**	**5090**	**0,2234**	**26,0%**	**1976**
Residencial	8677	1996	2770	-	19,1%	1074
Não Residencial	7286	1676	2330	-	46,0%	902
Eólica	**140**	**350**	**468**	**0,1854**	**2,4%**	**182**
Total	**16104**	**4022**	**5558**	**0,2202**	**28,4%**	**2158**

Tabela 3.12: Resumo dos principais resultados sobre a implementação de fontes de energia renovável na freguesia da Portela.

Quanto ao custo da electricidade produzida, é de 0,2234 €/kWh para o fotovoltaico e de 0,1854 €/kWh na eólica. Ao se fazer uma média ponderada à electricidade produzida por cada tecnologia, obtém-se um custo global de 0,2202 €/kWh.

Estes valores superiores ao preço de mercado, devem-se maioritariamente ao custo da tecnologia fotovoltaica e eólica, que é de 3550 €/kW e de 2800 €/kW, respectivamente. Se for possível a produção em regime especial no caso dos sistemas fotovoltaicos, tem-se então uma remuneração da electrici-

dade produzida de 0,4232 €/kWh, fazendo com que o tempo de recuperação do investimento seja de oito anos.

Perante os resultados obtidos conclui-se que a possível implementação de fontes de energia renovável nas coberturas dos edifícios da freguesia da Portela, embora seja bastante exequível, exige um planeamento cuidado e um conhecimento prévio das características do local.

O valor da percentagem de electricidade produzida face ao consumo pode parecer baixo, mas é necessário ter em consideração que este se deve sobretudo a um elevado consumo de electricidade de 19,6 GWh para toda a freguesia. Mesmo considerando apenas o consumo residencial de 14,5 GWh, tem-se uma elevada média por área útil de 342,6 kWh/m^2, face a uma produção fotovoltaica de 65,3 kWh/m^2. Isto significa que conjuntamente à implementação de fontes de energia renovável é essencial o desenvolvimento de um série de procedimentos que visem a redução do consumo de electricidade e da sua utilização mais eficiente.

Capítulo 4

Implementação de fontes de energia renovável, em meio urbano, a nível nacional

No presente capítulo será apresentada uma simulação do mercado energético português, com especial atenção para o sistema de distribuição de electricidade, usando para tal o software ENPEP-BALANCE. [49] O principal objectivo consistirá em determinar qual a influência da produção de electricidade a partir de fontes de energia renovável, instaladas em meio urbano a nível nacional.

Construiu-se um modelo simplificado mas credível da rede de produção e de distribuição de energia, que tem em consideração todo o percurso da energia, desde as fontes de energia primária até ao consumidor final. Este modelo foi criado com base na informação e dados disponíveis sobre o sistema eléctrico nacional, nomeadamente a quantidade de electricidade produzida em função da fonte, custos médios, valores de consumo finais, entre outros.

Utilizando esse modelo, supôs-se a instalação de fontes de energia renovável em áreas urbanas, de acordo com os resultados obtidos para o caso do bairro da Portela. O objectivo consiste em extrapolar as conclusões obtidas no capítulo 3 e aplicá-las, dentro do possível, a um nível nacional.

4.1 Simulação do mercado energético nacional

O modelo do mercado energético nacional, desenvolvido com o recurso ao software ENPEP, consiste em seguir o percurso da energia primária desde a sua importação ou produção, passando pelo seu consumo final ou transformação noutra forma de energia, que no presente estudo se restringiu apenas à electricidade. É dado especial ênfase à produção e consumo de electricidade, detalhando a sua produção com base no tipo de fonte, e o respectivo consumo de acordo com os diversos sectores de actividade. Por característica do software, a base temporal da simulação é anual, ou seja, os dados a introduzir no modelo e os resultados obtidos, correspondem ao período mínimo de um ano.

De seguida, descreve-se a estrutura do modelo implementado e apresentam-se os dados nos quais este se baseia. Posteriormente serão discutidos os pressupostos assumidos para a simulação da evolução futura do mercado, e mostrar-se-ão os respectivos resultados.

4.1.1 Estrutura do modelo e dados energéticos

O modelo está estruturado por sectores, de acordo com o tipo de processos que ocorrem. Os três grandes grupos de sectores são as importações, as transformações de energia, e o consumo final. O sector das importações engloba a importação de energia primária (combustíveis fósseis em bruto), de produtos derivados do petróleo e de electricidade. As transformações de energia compreendem os sectores da refinação de petróleo e da produção e distribuição de electricidade. Por último, o consumo de energia final é representado pelos vários sectores de actividade. O esquema presente na figura 4.1 mostra de forma resumida a estrutura do modelo adoptado.
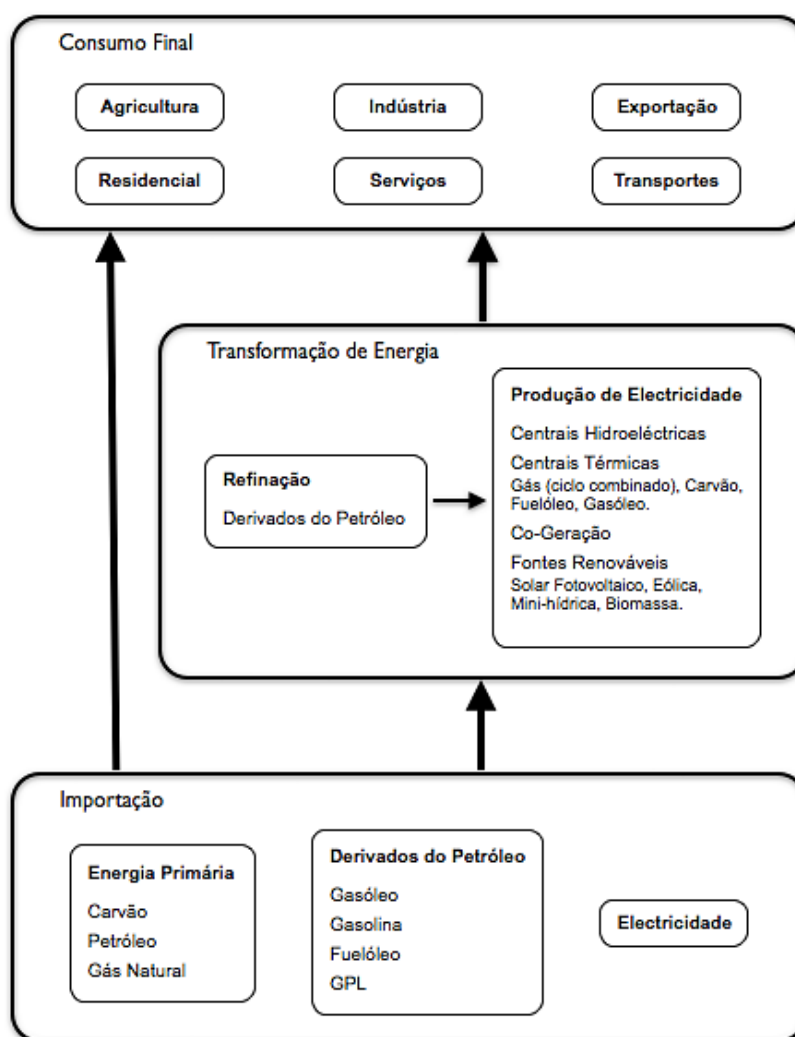
Figura 4.1: Esquema simplificado da estrutura do modelo de mercado energético nacional, simulado no software ENPEP.

As principais importações de energia primária consistem em petróleo, gás natural e carvão (hulha e antracite). Na tabela 4.1 encontram-se as quantidades importadas dos vários combustíveis fósseis mencionados anteriormente e os respectivos preços médios. Salvo indicação em contrário, os dados presentes nas tabelas seguintes referem-se ao período entre os anos de 2006 e 2008, período esse que constitui o ponto de partida para a simulação realizada pelo software.

	Petróleo		Gás Natural		Carvão	
	(tep)	(€/tep)	(tep)	(€/tep)	(tep)	(€/tep)
2006	13633062	363,61	3674256	217,84	3497905	77,35
2007	12480389	376,68	3773160	202,86	2909866	92,65
2008	12225495	500,00	4163167	237,20	2327219	157,59

Tabela 4.1: Quantidades importadas de petróleo, gás natural e carvão (em tep), e respectivos preços (em €/tep), para o período entre 2006 e 2008. [3], [50], [51]

Existe igualmente a importação de outras fontes de energia como é o caso de produtos refinados de petróleo e de electricidade. No presente estudo apenas se consideraram os quatro derivados do petróleo com mais peso no balanço energético nacional e também com o maior interesse para a simulação: gasolina, gasóleo, gás de petróleo liquefeito e fuelóleo. Na tabela 4.2 apresentam-se as quantidades importadas e os preços médios da electricidade e dos quatro derivados de petróleo considerados.

	Electricidade		Gasolina		Gasóleo		GPL		Fuelóleo	
	(tep)	(€/tep)	(tep)	(€/tep)	(tep)	(€/tep)	(tep)	(€/tep)	(tep)	(€/tep)
2006	741664	639,64	113858	468,89	660559	468,59	615626	373,26	548507	319,73
2007	829126	535,57	97380	490,26	789349	469,61	621146	407,53	440618	276,84
2008	923984	781,69	123845	540,49	1028591	609,25	628378	448,88	548916	348,20

Tabela 4.2: Quantidades importadas de electricidade, gasolina, gasóleo, gás de petróleo liquefeito e fuelóleo (em tep), e respectivos preços (em €/tep), para o período entre 2006 e 2008. [3], [50], [51]

No caso dos produtos refinados do petróleo, também ocorre a sua produção nas refinarias de Sines e do Porto, que têm em conjunto uma capacidade de destilação total de cerca de 15 milhões de toneladas por ano. Na tabela 4.3 encontram-se as quantidades anuais de derivados do petróleo produzidos nas refinarias nacionais.

	Gasolina		Gasóleo		GPL		Fuelóleo	
	(tep)	(%)	(tep)	(%)	(tep)	(%)	(tep)	(%)
2006	2945867	21,9	5340537	39,6	459129	3,4	3255869	24,2
2007	2743390	22,0	4821102	38,7	425410	3,4	2711907	21,8
2008	2252347	18,5	4776745	39,2	421097	3,5	2678848	22,0

Tabela 4.3: Quantidades produzidas de gasolina, gasóleo, gás de petróleo liquefeito e fuelóleo (em tep), e respectivas percentagens face ao total de petróleo que entra nas refinarias nacionais, para o período entre 2006 e 2008. [3], [50], [51]

Quanto à produção de electricidade a nível nacional, esta divide-se em dois regimes: a produção em regime ordinário, com base em fontes tradicionais como centrais termoeléctricas e hidroeléctricas e a produção em regime especial, relativa à produção eléctrica a partir de fontes de energia renovável e da co-geração.

Os dados sobre combustíveis fósseis anteriormente apresentados são essenciais na simulação da produção de electricidade a partir de centrais termoeléctricas. A tecnologia das centrais nacionais é variada, assim como as fontes de energia usadas na produção de electricidade: existem centrais termoeléctricas a carvão, gás natural, fuelóleo, gasóleo, biomassa e em co-geração a gás natural.

As tabelas 4.4 e 4.5 contém as características mais importantes das principais centrais termoeléctricas nacionais, como a tecnologia e o combustível usado, a potência instalada, a produção de electricidade e o consumo de combustível. Os valores da eficiência referem-se somente à geração de electricidade, isto é, foram calculados através do quociente entre a electricidade produzida e a respectiva quantidade de combustível fóssil que foi queimado. A utilização representa o número de horas que a central operou à potência nominal e neste caso é apresentada a percentagem em relação ao número de horas num ano.

Central Termoeléctrica	Tipo	Combustível	Potência (MW)
Sines	Turbina a vapor	Carvão	1192
Pego	Turbina a vapor	Carvão	628
Tunes	Turbina a gás	Gasóleo	165
Carregado	Turbina a vapor	Fuelóleo e Gás natural	710
Setúbal	Turbina a vapor	Fuelóleo	946
Barreiro	Turbina a vapor	Fuelóleo	56
Ribatejo	Ciclo combinado	Gás natural	1176
Tapada do Outeiro	Ciclo combinado	Gás natural	990
Mortágua	Turbina a vapor	Biomassa	9

Tabela 4.4: Características das centrais termoeléctricas portuguesas: tipo de central, combustível e potência (em MW). [52], [53], [54], [55], [56]

Central Termoeléctrica	Produção (MWh)		Consumo (tep)		Eficiência (%)		Utilização (%)	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Sines	9.694.232	8.048.154	2.231.681	1.826.991	37,3	37,9	92,8	77,1
Pego	4.723.000	3.901.000	1.016.431	837.988	40,0	40,0	85,9	70,9
Tunes	850	102	466	148	15,7	5,9	0,1	0,0
Carregado	239.300	196.842	64.445	53.864	31,9	31,4	3,8	3,2
Setúbal	1.234.934	960.536	289.833	227.710	36,6	36,3	14,9	11,6
Barreiro	144.995	113.719	86.273	77.658	14,4	12,6	29,6	23,2
Ribatejo	5.728.223	6.037.599	878.587	926.706	56,1	58,6	55,6	58,6
Tapada do Outeiro	4.070.000	4.470.000	720.871	790.511	48,5	51,5	46,9	51,5
Mortágua	51.389	51.389	39.364	40.235	11,2	11,0	65,2	65,2

Tabela 4.5: Dados sobre o funcionamento das centrais termoeléctricas portuguesas: produção de electricidade (em MWh), consumo de combustível (em tep), eficiência e utilização. [52], [53], [54], [55], [56]

Relativamente à produção de electricidade a partir de recursos hídricos, existem cerca de trinta centrais hidroeléctricas de grande dimensão, com uma potência instalada por central superior a 10 MW, e que se localizam maioritariamente no centro e norte do país. A tabela 4.6 contém a evolução da potência hídrica instalada, da produção de electricidade e da utilização anual. Claramente se constata que devido à disponibilidade variável do recurso natural, a produção de electricidade tem oscilações consideráveis, variando entre 4,7 TWh e 15,1 TWh no período considerado. No mesmo período temporal, o valor médio da utilização anual da potência instalada é de 2235 horas.

As restantes fontes de energia renovável enquadram-se na produção de electricidade em regime

Grande Hídrica	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Potência (MW)	4034	4034	4034	4294	4485	4497	4497	4497	4497
Electricidade (GWh)	13577	7511	15125	9552	4719	10599	9910	6668	8165
Utilização (h)	3366	1862	3749	2224	1052	2357	2204	1483	1816

Tabela 4.6: Dados sobre a produção de electricidade a partir de grandes centrais hidroeléctricas (com potência superior a 10 MW). Evolução entre 2001 e 2009 dos totais de potência instalada (em MW), da produção de electricidade (em GWh) e da utilização anual (em horas). [57]

especial, e aquelas com maior contributo no balanço energético nacional são a eólica, o solar fotovoltaico, a mini-hídrica (centrais com potência igual ou inferior a 10 MW) e a biomassa. A tabela 4.7 mostra, para o intervalo de anos entre 2001 e 2009, os dados sobre a potência instalada, a produção de electricidade e a utilização anual, detalhados em função da tecnologia renovável. Verifica-se um aumento considerável da potência instalada, nomeadamente nas tecnologias eólica e fotovoltaica, as quais tiveram no período considerado, um aumento médio anual de 57% e de 100%, respectivamente. Deste modo, o peso das fontes de energia renovável na produção de electricidade tem vindo a crescer de forma visível.

Eólica	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Potência (MW)	114	175	253	537	1047	1681	2446	3012	3566
Variação	-	53,5	44,6	112,3	95,0	60,6	45,5	23,1	18,4
Produção (GWh)	239	341	468	787	1741	2892	4007	5720	7440
Utilização (h)	2096	1949	1850	1466	1663	1720	1638	1899	2086
Fotovoltaico	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Potência (MW)	1,3	1,5	2,1	2,7	2,9	3,4	14,5	58,5	96,3
Variação	-	15,4	40,0	28,6	7,4	17,2	326,5	303,4	64,6
Produção (GWh)	1,6	1,8	2,6	2,9	3,8	4,1	23,6	41,4	159,9
Utilização (h)	1231	1200	1238	1074	1310	1206	1628	708	1660
Mini-hídrica	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Potência (MW)	240	254	258	267	286	287	290	295	324
Variação	-	5,8	1,6	3,5	7,1	0,3	1,0	1,7	9,8
Produção (GWh)	663	585	769	501	281	724	441	434	552
Utilização (h)	2763	2303	2981	1876	983	2523	1521	1471	1704
Biomassa	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Potência (MW)	441	469	449	464	465	477	481	481	568
Variação	-	6,3	-4,3	3,3	0,3	2,6	0,9	0,0	18,0
Produção (GWh)	1599	1729	1646	1747	1926	1945	2060	2035	2239
Utilização (h)	3626	3686	3667	3765	4140	4076	4279	4227	3942

Tabela 4.7: Dados sobre a produção de electricidade a partir de fontes de energia renovável: eólica, solar fotovoltaico, mini-hídrica e biomassa. Evolução entre 2001 e 2009 dos totais de potência instalada (em MW), da produção de electricidade (em GWh) e da utilização anual (em horas). [57]

A produção de electricidade advém ainda de sistemas de co-geração, que podem estar em centrais exclusivamente dedicadas à produção de electricidade e calor, ou em diversas instalações industriais. A nível nacional existem sete grandes centrais termoeléctricas de co-geração a gás natural, com uma

potência total de 334 MW. A restante potência de co-geração distribui-se por cerca de uma dezena de centrais de menor dimensão, a gás natural e fuelóleo e por sistemas existentes em vários pelos vários sectores industriais: têxtil, madeira, pasta de papel, alimentar, químico, entre outros.

Assim, a potência instalada em co-geração era cerca de 1207 MW em 2005, estimando-se que até ao final de 2010 atinja cerca de 2000 MW. [58] Quanto à electricidade produzida anualmente de 2005 a 2008, os valores oscilaram entre 5,7 TWh em 2008 e 6,1 TWh em 2007. [3]

Considerando os dados apresentados anteriormente, a tabela 4.8 resume os valores referentes à produção de electricidade de acordo com a sua origem. Observa-se que, de um modo geral, no período em causa não existem grandes alterações no peso relativo das diversas fontes de produção de electricidade.

Fonte	2006			2007			2008		
	(ktep)	(GWh)	(%)	(ktep)	(GWh)	(%)	(ktep)	(GWh)	(%)
Térmica	2312	26890	46,7	2166	25194	43,9	2197	25558	45,0
Co-geração	497	5784	10,0	510	5930	10,3	477	5549	9,8
Hídrica	911	10599	18,4	852	9910	17,3	573	6668	11,7
Renovéveis	489	5683	9,9	572	6655	11,6	711	8269	14,6
Eólica	252	2926	5,1	347	4038	7,0	495	5758	10,1
Mini-hídrica	62	724	1,3	38	441	0,8	37	434	0,8
Fotovoltaico	0,4	5	0,0	2,1	24	0,0	3,6	41	0,1
Biomassa	174	2028	3,5	185	2151	3,8	175	2035	3,6
Importação	742	8626	15,0	829	9643	16,8	924	10747	18,9
Total	4952	57592	100,0	4929	57332	100,0	4883	56791	100,0

Tabela 4.8: Produção de electricidade detalhada de acordo com a fonte, entre 2006 e 2008. Valores em ktep, GWh e em percentagem relativa ao total da produção. [3], [57]

A produção de electricidade a partir da queima de combustíveis fósseis, como nas centrais térmicas e em co-geração é maioritária, representando em média cerca de 55% da produção nacional. Segue-se a produção em grandes centrais hidroeléctricas e a partir das restantes fontes renováveis, sendo que ambas totalizam em média 28%. Neste intervalo temporal observa-se a duplicação da contribuição eólica e, por motivos de uma menor disponibilidade do recurso natural, uma redução da electricidade produzida em centrais hidroeléctricas. Parte dessa redução é compensada pelo aumento da electricidade importada que em 2008 atingiu 19% do total da produção, ou seja, o valor mais elevado dos três anos.

Na tabela 4.9 apresentam-se os consumos de electricidade dos vários sectores de actividade. Constata-se que no mesmo período o consumo relativo dos sectores se mantém praticamente constante, à excepção de uma diminuição visível da electricidade exportada, o que é compreensível face ao aumento das importações verificado. Os sectores com maior consumo são os serviços, o residencial e a indústria, com 35%, 27% e 33% do consumo nacional em 2008, respectivamente.

A diferença entre a produção total de electricidade e o consumo de todos os sectores de actividade, deve-se a dois factores: ao consumo próprio das centrais e a perdas de transporte e distribuição de electricidade. Em média a percentagem de perdas é cerca de 10%

Sector	2006			2007			2008		
	(ktep)	(GWh)	(%)	(ktep)	(GWh)	(%)	(ktep)	(GWh)	(%)
Indústria	1362	15836	31,3	1427	16595	32,4	1.390	16166	32,5
Agricultura	83	965	1,9	88	1022	2,0	87	1014	2,0
Transportes	47	545	1,1	46	538	1,1	47	543	1,1
Residencial	1153	13410	26,5	1192	13867	27,1	1.158	13465	27,1
Serviços	1439	16732	33,0	1463	17016	33,2	1478	17186	34,6
Exportação	274	3184	6,3	185	2154	4,2	113	1.313	2,6
Total	4357	50671	100,0	4401	51190	100,0	4272	49687	100,0

Tabela 4.9: Consumo de electricidade por sector de actividade, entre 2006 e 2008. Valores em ktep, GWh e em percentagem relativa ao total do consumo. [3], [57]

As tabelas 4.8 e 4.9 encontram-se resumidas nos gráficos da figura 4.2, os quais apresentam a produção de electricidade detalhada de acordo com a fonte e o consumo de electricidade por sector de actividade, ambos em percentagem relativa ao respectivo total de electricidade.
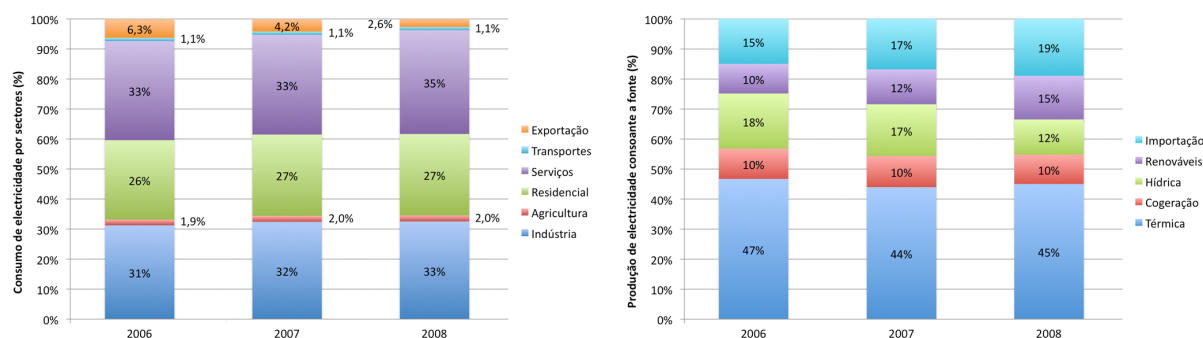
Figura 4.2: Produção de electricidade consoante a fonte e consumo de electricidade por sector de actividade, entre 2006 e 2008. Valores em percentagem do total de produção ou consumo de electricidade. [3], [57]

Quanto aos custos da electricidade produzida, no caso das centrais térmicas, estes são calculados pelo software com base nas características específicas das centrais apresentadas nas tabelas 4.4 e 4.5, como a potência, o consumo de matéria prima, a eficiência e a utilização. Os custos da electricidade produzida por fontes renováveis foram obtidos a partir da tabela 1.3.

4.1.2 Pressupostos e evolução futura

A simulação da evolução futura do mercado energético, pressupõe a assunção e previsão de várias hipóteses, tanto ao nível da procura de energia, como da sua produção. Nesta subsecção serão apresentados os dados que possibilitam efectuar a simulação até ao ano de 2025.

Relativamente ao consumo final de energia dos vários sectores de actividade, o principal dado a estimar é a percentagem anual de crescimento da procura de um produto, como a electricidade ou o gás natural, entre outros. Essa estimativa foi realizada com base na evolução histórica do consumo de electricidade e tendo em conta as perspectivas do seu crescimento.

A tabela 4.10 contém os valores de crescimento anual médio do consumo de electricidade nos vários sectores de actividade, nos períodos entre 1990 e 2008 e a previsão entre 2009 e 2030. Contém

também o crescimento total durante os dois intervalos temporais considerados. De referir que a previsão do crescimento anual médio global obtido é superior à previsão efectuada pela IEA [4] para a média os países da OCDE (que é de 1,1%), no entanto este resultado é plausível considerando o facto que Portugal é um do países ainda não atingiu o nível de desenvolvimento de outros países pertencentes à organização.

Sector	Crescimento médio anual (%)		Crescimento absoluto (%)	
	1990 - 2008	2009 - 2030	1990 - 2008	2009 - 2030
Indústria	2,3	1,8	49	44
Agricultura	7,1	2,1	232	53
Transportes	4,4	3,6	108	113
Residencial	4,7	2,3	126	61
Serviços	6,1	2,2	186	59
Exportação	3,4	-2,9	-23	-44
Global	3,9	2,3	97	53

Tabela 4.10: Crescimento anual médio do consumo de electricidade por sectores de actividade, nos períodos entre 1990 e 2008 e entre 2009 e 2030, e respectivo crescimento absoluto nos intervalos considerados. [3], [4]

As previsões dos preços da energia primária, nomeadamente do petróleo, gás natural e carvão, encontram-se expostas na secção 1.2. Estes dados provêm da IEA, a qual apresenta uma estimativa dos preços em intervalos de cinco anos, até ao ano de 2030. [4] Quanto aos preços dos derivados do petróleo, supôs-se que acompanham o mesmo aumento percentual que o preço do petróleo.

No que concerne à produção de electricidade, está programada a construção de novas centrais termoeléctricas e hidroeléctricas, que entrarão em funcionamento durante a próxima década. Os reforços de potência previstos especialmente em centrais hidroeléctricas, também serão tidos em conta no presente estudo. A tabela 4.11 resume o conjunto de novas centrais hidroeléctricas e termoeléctricas, considerando o ano de início de operação e a respectiva potência instalada.

Novas barragens	Início da operação	Potência (MW)	Reforços de potência	Início da operação	Potência (MW)
Baixo Sabor	2013	171	Picote II	2011	246
Ribeiradio Ermida	2013	77	Bemposta II	2011	191
Foz Tua	2015	251	Alqueva II	2012	256
Alvito	2015	225	Venda Nova III	2015	736
Fridão	2016	238	Salamonde II	2015	204
			Paradela II	2017	318
Novas centrais térmicas	**Tipo**		**Combustível**	**Início da operação**	**Potência (MW)**
Lares	Ciclo combinado		Gás natural	2009	862
Pego	Ciclo combinado		Gás natural	2011	800
Sines	Ciclo combinado		Gás natural	2014	800
Lavros	Ciclo combinado		Gás natural	2016	800

Tabela 4.11: Início de operação e potência instalada em novas barragens e centrais termoeléctricas e reforços de potência em centrais hidroeléctricas já existentes. [59], [60], [61]

Por fim, espera-se uma evolução crescente da produção de electricidade a partir de fontes renováveis, tal como está exposto nos documentos elaborados pela Associação de Energias Renováveis (APREN) [63] e pelo Estado Português [61]. Estes documentos foram criados com base na aplicação da directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis e que estabelece a obrigatoriedade dos países apresentarem à Comissão Europeia um Plano de Acção de Nacional para as Energias Renováveis (PNAER).

A tabela 4.12 apresenta os valores previstos pelo Estado Português ao nível da evolução da potência instalada e da produção de electricidade a partir de fontes renováveis, até ao ano de 2020. [61]

Eólica	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Potência (MW)	4256	4928	5600	5600	5600	6100	6100	6100	6650	6900	6900
Variação	19,3	15,8	13,6	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	9,0	3,8	0,0
Produção (GWh)	10002	11458	12755	12755	12755	13359	13359	13359	14298	14663	14490
Utilização (h)	2350	2325	2278	2278	2278	2190	2190	2190	2150	2125	2100
Fotovoltaico	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Potência (MW)	151	205	270	330	380	430	510	605	720	860	1000
Variação	56,8	35,8	31,7	22,2	15,2	13,2	18,6	18,6	19,0	19,4	16,3
Produção (GWh)	233	303	398	487	561	634	752	892	1062	1269	1475
Utilização (h)	1543	1478	1474	1476	1476	1474	1475	1474	1475	1476	1475
Grande hídrica	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Potência (MW)	4580	4580	5287	5287	5532	6523	7545	7545	8998	9084	9084
Variação	1,8	0,0	15,4	0,0	4,6	17,9	15,7	0,0	19,3	1,0	0,0
Produção (GWh)	8704	8704	10048	10048	10513	12397	14339	14339	17100	17264	17264
Utilização (h)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Mini-hídrica	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Potência (MW)	410	457	503	503	550	550	600	650	650	700	750
Variação	26,5	11,5	10,1	0,0	9,3	0,0	9,1	8,3	0,0	7,7	7,1
Produção (GWh)	755	840	925	925	1012	1012	1104	1196	1196	1288	1380
Utilização (h)	1841	1838	1839	1839	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1840
Biomassa	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Potência (MW)	672	773	888	888	913	913	928	928	943	943	958
Variação	18,3	15,0	14,9	0,0	2,8	0,0	1,6	0,0	1,6	0,0	1,6
Produção (GWh)	2352	2706	3108	3108	3196	3196	3248	3248	3301	3301	3353
Utilização (h)	3500	3501	3500	3500	3501	3501	3500	3500	3501	3501	3500

Tabela 4.12: Estimativa da contribuição das energias renováveis, eólica, solar fotovoltaico, grande hídrica, mini-hídrica e biomassa, entre os anos de 2010 e 2020. Valores de potência instalada (em MW), da produção de electricidade (em GWh) e da utilização anual (em horas). [61]

Os dados presentes na tabela 4.12 mostram claramente uma aposta no desenvolvimento das fontes de energia renovável. O principal objectivo consiste em garantir o cumprimento dos compromissos nacionais no contexto das políticas europeias de energia e de combate às alterações climáticas, permitindo que em 2020, 31% do consumo final bruto de energia, 60% da electricidade produzida e 10% do consumo de energia no sector dos transportes rodoviários tenham origem em fontes renováveis. [61] Além disso, espera-se reduzir em 25% o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas.

Perante os dados anteriormente expostos, passa-se agora à apresentação dos resultados obtidos pelo modelo. Caso não se imponham condições na simulação, o software adopta exclusivamente uma

lógica de mercado, ou seja, dá preferência ao consumo electricidade proveniente de fontes com menor custo de produção, até esgotar totalmente a sua capacidade, passando a seguir para a fonte com um custo superior e assim sucessivamente até satisfazer a procura de electricidade.

No entanto, a realidade do sistema electroprodutor não possibilita a aplicação directa desta lógica, pelo que é necessário ter em conta algumas condicionantes ao nível técnico e também político, as quais se sobrepõem à lógica exclusivamente de mercado. Assim, estas condições são as seguintes:

- A base da produção de electricidade é feita por centrais térmicas, em especial térmicas a carvão e a gás natural.

- É dada prioridade à produção de electricidade a partir da grande hídrica e à produção em regime especial, isto é, a partir de fontes renováveis, assumindo que se consome toda a electricidade que se prevê produzir (ver tabela 4.12).

- Não se permite que a importação de electricidade seja uma fonte concorrente com a produção nacional, caso esta consiga satisfazer a procura interna.

Tendo em conta todas as considerações e dados apresentados anteriormente, a figura 4.3 mostra o resultado obtido pela simulação: a evolução da quantidade de electricidade produzida consoante a fonte e o peso de cada fonte no total da produção.
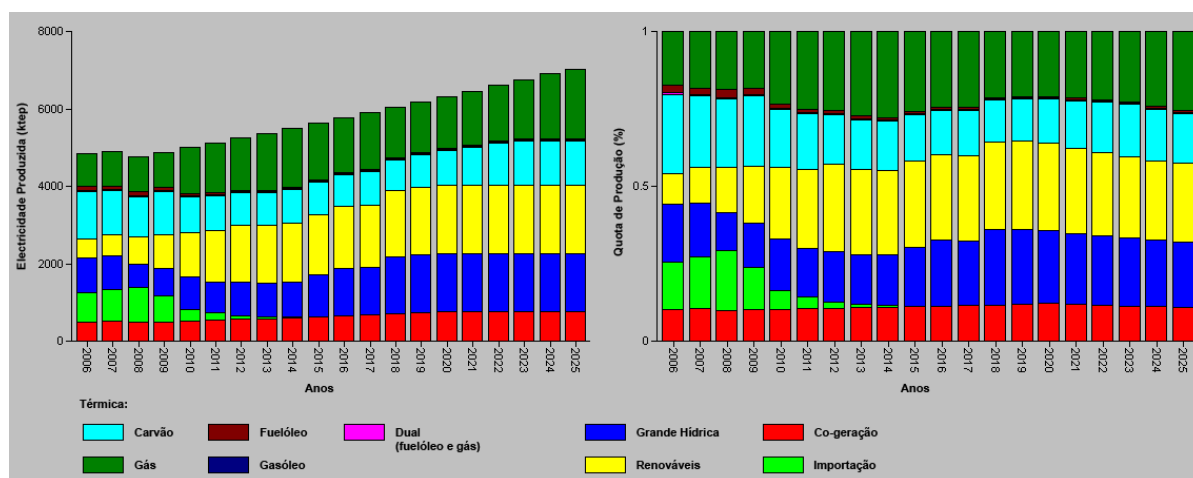
Figura 4.3: Evolução até 2025 da produção de electricidade detalhada consoante a fonte (em ktep), e a respectiva quota de produção relativa ao total de electricidade (gráfico à direita).

A tabela 4.14 contém os valores referentes aos gráficos da figura 4.3, para os anos de 2010, 2015, 2020 e 2025, apresentando os valores da produção de electricidade (convertidos em GWh) e as percentagens correspondentes a cada fonte.

É preciso ter em atenção que os resultados obtidos por esta simulação representam um possível cenário futuro que foi baseado nos dados e previsões anteriormente mencionadas. Outros cenários são possíveis, no entanto, os resultados apresentados pela simulação têm como forte fundamentação as políticas nacionais até ao ano de 2020, nas seguintes áreas: energias renováveis e sistema electroprodutor português.

Fonte	2010		2015		2020		2025	
	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)
Térmica	25512	43,9	27491	42,0	26514	36,1	34803	42,6
Gás natural	13691	23,6	17037	26,0	15455	21,1	20818	25,5
Carvão	10820	18,6	9798	15,0	10478	14,3	13278	16,3
Outras	1001	1,7	656	1,0	582	0,8	708	0,9
Co-geração	6002	10,3	7303	11,1	8885	12,1	8885	10,9
Grande Hídrica	9752	16,8	12397	18,9	17264	23,5	17264	21,1
Renováveis	13342	23,0	18201	27,8	20698	28,2	20698	25,3
Importação	3489	6,0	116	0,2	0	0,0	0	0,0
Total	58097	100,0	65507	100,0	73361	100,0	81650	100,0

Tabela 4.13: Valores da produção de electricidade detalhada consoante a fonte (em GWh), e a respectiva quota de produção relativa ao total de electricidade, para os anos de 2010, 2015, 2020 e 2025.

Os gráficos da figura 4.3 mostram um grande aumento da produção de electricidade a partir de fontes renováveis, prevendo-se que em 2020 a grande hídrica e as restantes renováveis representem 52% do total nacional. Apesar desta grande aposta nas fontes renováveis, está programado a instalação de nova capacidade térmica, nomeadamente centrais térmicas de ciclo combinado a gás natural. Conjuntamente com as novas centrais hidroeléctricas com bombagem, garantir-se-à a existência de uma potência de reserva e de flexibilidade no sistema electroprodutor, capaz de suportar o crescimento das fontes de energia renovável de produção intermitente, como as centrais eólicas, nos períodos em que a sua produção é mais reduzida. [61]

Por exemplo, de acordo com a simulação, mesmo considerando toda a produção renovável prevista na tabela 4.12 para o ano de 2020, o sistema electroprodutor nacional teria a capacidade de adicionalmente produzir cerca de 14 TWh em centrais térmicas, caso fosse necessário. Tal facto significaria que nesse ano, a reserva de potência térmica permitiria a produção de electricidade, capaz de colmatar até 36,8% de redução na produção a partir das renováveis e centrais hidroeléctricas.

Em média, no período entre 2010 e 2020, a reserva de potência térmica possibilitará cobrir até uma diminuição de 28,9% na previsão de produção de electricidade do conjunto das renováveis e da grande hídrica. Consegue-se assim a redução da dependência do país em electricidade importada, durante os anos em que devido a uma menor disponibilidade do recurso natural, a produção renovável e hidroeléctrica seja inferior à média.

Face a esta realidade, é possível a exportação de electricidade para os países da Europa Central, uma vez que o mercado ibérico de electricidade terá excesso de produção. O Estado Português contempla esta opção, no entanto tem consciência que actualmente existe uma limitação física da actual interconexão entre a Espanha e a França, e que apenas a resolução de tal constrangimento permitirá concretizar esta hipótese. [61]

A presente simulação evidencia que para um crescimento médio anual do consumo global de electricidade de 2,3%, as políticas e planos de acção do Estado Português, permitirão atingir os objectivos propostos, nomeadamente o aumento do peso das fontes de energia renovável na produção de electricidade.

Verificou-se que a aposta no desenvolvimento das renováveis é possível e depende apenas da concretização dos projectos planeados para o futuro. Esse desenvolvimento será acompanhado pelo aumento da potência térmica instalada, de modo a contribuir para satisfazer o aumento da procura previsto e assegurar uma maior independência externa de electricidade nos intervalos de tempo em que a produção renovável seja inferior ao habitual.

4.2 Impacto da produção de energia renovável em meio urbano

Tendo-se obtido, nos capítulos 2 e 3, um conjunto de importantes resultados sobre a freguesia da Portela e a aplicação de fontes de energia renovável em meio urbano, e na secção 4.1, uma simulação do sistema electropodutor nacinal, a presente secção terá como objectivo determinar qual o peso que teria a produção de electricidade a partir de fontes renováveis em meio urbano.

De modo a concretizar tal objectivo, procede-se à extrapolação dos resultados obtidos na freguesia da Portela, aplicando-os dentro do possível, num cenário que contemple as áreas urbanas a nível nacional. Esse cenário será desenvolvido usando a simulação apresentada na secção anterior.

Os principais resultados obtidos para a freguesia da Portela, no que concerne à aplicação de fontes de energia renovável, incidem sobre as tecnologias solar fotovoltaica e eólica. No caso da aplicação de mini-turbinas eólicas, os resultados obtidos para a Portela são bastantes específicos para aquela área urbana: o número de mini-turbinas que é possível instalar foi em grande parte condicionado pelas características do edificado e da sua disposição espacial e o cálculo da electricidade produzida foi realizado com base em parâmetros que possuem uma grande variabilidade consoante o local em causa.

Pelas razões mencionadas anteriormente, optou-se por restringir a extrapolação dos resultados da Portela, apenas para o caso da instalação de solar fotovoltaico nas coberturas de edifícios em meio urbano. A segunda opção consiste em decidir se no cenário nacional apenas são consideradas as coberturas dos edifícios residenciais ou se também serão contemplados outros edifícios que não sejam para habitação.

Considerando os dados disponíveis, optou-se por contemplar apenas os edifícios residenciais. A justificação reside no facto de se conhecer o número total de edifícios de habitação e a respectiva área bruta de cobertura média, assim como também está disponível o valor do consumo de electricidade no sector doméstico.

O procedimento para avaliar o potencial máximo de produção de electricidade a partir de sistemas fotovoltaicos instalados sobre as coberturas de edifícios consiste nas seguintes etapas:

1. Determinar o número de edifícios de habitação familiar clássica em Portugal: existem 3247894 edifícios em 2008. [64]

2. Sendo 200 m^2 o valor médio da área bruta de cobertura [64], obtém-se 649,6 km^2 de área bruta de cobertura a nível nacional.

3. Com base no valor médio de área útil por cobertura na Portela, 62%, chega-se ao total de área útil: 401,2 km^2.

4. O rácio entre a área dos painéis e a área útil é 33%, logo área de painéis fotovoltaicos é 132,4 km^2.
5. O número de painéis fotovoltaicos seria 82318001, o que equivale a uma potência instalada de 18933 MW.
6. Com uma produção anual média de 1390 kWh/kW, o total de electricidade produzida ascenderia aos 26317 GWh.

Uma produção anual de 26317 GWh representaria praticamente o dobro do consumo de electricidade no sector doméstico no ano de 2008, como se constata na tabela 4.9, e é um valor superior ao consumo previsto pela simulação para o ano de 2025 (21401 GWh de consumo doméstico). No entanto, é essencial notar que o resultado obtido é claramente um valor majorado, dado que não tem conta a existência de sombras provocadas por edifícios adjacentes ou pelo relevo do terreno.

A instalação de 18933 MW de potência fotovoltaica durante o período da simulação seria obviamente impossível, sendo que talvez até 2050 ou posteriormente se atinjam valores dessa ordem de grandeza. Por este motivo decidiu-se realizar a simulação implementando somente uma pequena parte do valor da potência calculada anteriormente.

A implementação faseada de 10% de 18933 MW no período entre 2015 e 2025, ou seja, instalar em meio urbano a nível nacional até uma potência de 1893 MW em sistemas fotovoltaicos, constitui uma hipótese bastante mais plausível e em princípio com resultados mais interessantes.

A figura 4.4 contém os resultados alcançados pela simulação: o consumo de electricidade doméstico de acordo com a fonte produtora e o peso de cada fonte relativo ao total do consumo. Nesta simulação impôs-se a condição de que a electricidade produzida pelos sistemas fotovoltaicos é totalmente consumida no local, tendo preferência sobre a electricidade proveniente da rede de distribuição. Um facto importante a ter em conta é que se considera que a electricidade consumida pelo sector doméstico provém de todas as fontes de forma proporcional à produção das respectivas, sendo esta assunção válida quando se está perante uma simulação com base temporal mínima de um ano.
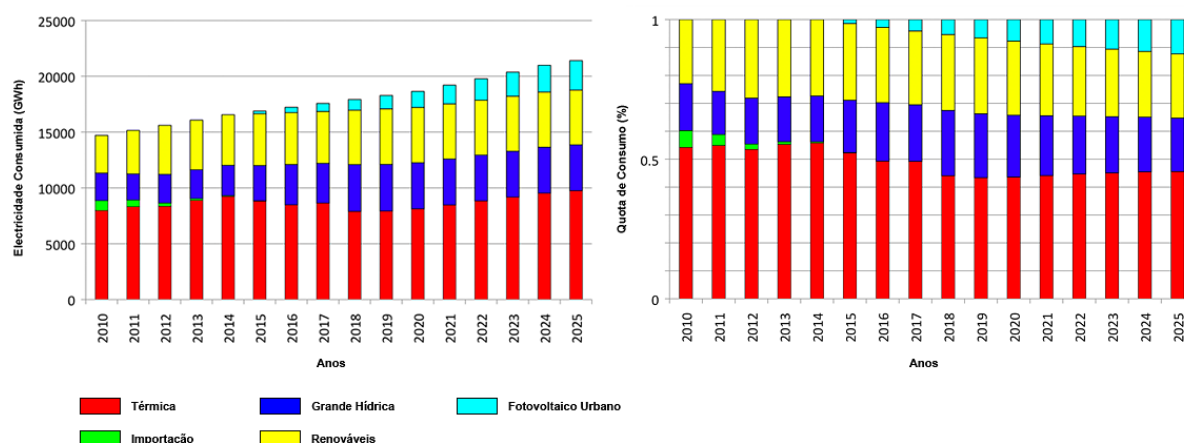
Figura 4.4: Evolução do consumo de electricidade no sector doméstico detalhada consoante a fonte (em GWh), e a respectiva quota de produção relativa ao total de electricidade (gráfico à direita).

A tabela 4.14 contém os valores referentes aos gráficos da figura 4.4, para os anos de 2010, 2015,

2020 e 2025, apresentando os valores do consumo de electricidade e as percentagens correspondentes a cada fonte. A evolução é bastante semelhante à já descrita anteriormente na subsecção 4.1.2, com a excepção de que neste caso se simulou a introdução de sistemas fotovoltaicos no próprio local de consumo, causando a substituição do consumo da rede pela electricidade produzida pelos sistemas.

Fonte	2010		2015		2020		2025	
	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)
Térmica	7978	54,2	8812	52,2	8125	43,6	9752	45,6
Grande Hídrica	2469	16,8	3161	18,7	4130	22,2	4101	19,2
Renováveis	3377	23,0	4642	27,5	4951	26,6	4916	23,0
Fotovotaico Urbano	0	0,0	239	1,4	1435	7,7	2632	12,3
Importação	883	6,0	30	0,2	0	0,0	0	0,0
Total	14707	100,0	16884	100,0	18641	100,0	21401	100,0

Tabela 4.14: Valores do consumo de electricidade no sector doméstico detalhada consoante a fonte (em GWh), e a respectiva quota de produção relativa ao total de electricidade, para os anos de 2010, 2015, 2020 e 2025.

É impreterível ter em atenção que o cenário apresentado partiu de valores médios obtidos numa determinada área urbana, nomeadamente a percentagem de área útil, e que se assumiram serem válidos para a média nacional. Além disso também foram usados dados estatísticos, os quais podem advir de realidades ou situações bastante diferentes da estudada na freguesia da Portela.

Neste cenário concreto, onde no período entre 2015 e 2025 se supôs a adição anual de 172 MW em sistemas fotovoltaicos presentes em meio urbano, a simulação mostra que é possível ter até 12,3% da electricidade consumida no sector residencial, proveniente de produção fotovoltaica no próprio local de consumo. Quanto ao custo da electricidade produzida, a simulação mostra que no período considerado, o preço anual da electricidade é em média 3,14% superior face à situação em que não se implementam sistemas fotovoltaicos em meio urbano.

Como era expectável o peso das fontes renováveis no consumo de electricidade no sector doméstico aumenta, sendo de 56,5% e de 54,5% para os anos de 2020 e 2025, respectivamente. São valores um pouco superiores à percentagem de produção a partir de fontes renováveis no sistema electroprodutor nacional (ver tabela 4.14), os quais são 51,4% e 46,6% para os anos de 2020 e 2025, respectivamente.

Ao comparar o total de potência instalada na freguesia da Portela com este cenário, constata-se que o último caso é equivalente à existência de 516 áreas urbanas com as características da Portela. Sendo uma primeira aproximação à realidade, tal resultado poderá ser considerado como excessivo, no entanto, apenas uma análise mais profunda e completa sobre várias e distintas áreas urbanas, permitirá chegar a uma conclusão mais sólida.

4.3 Conclusões

Os planos para o futuro do sistema electroprodutor nacional estão contemplados em diversos documentos elaborados pelo Estado Português, nomeadamente o Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis [61]. As principais linhas de orientação consistem no desenvolvimento das fones de

energia renovável, de modo a garantir o cumprimento dos compromissos nacionais no contexto das políticas europeias de energia e de combate às alterações climáticas.

Apesar desta grande aposta nas fontes renováveis, está programado a instalação de nova capacidade térmica, nomeadamente centrais térmicas de ciclo combinado a gás natural. O objectivo é garantir a existência de uma potência de reserva e de flexibilidade no sistema electroprodutor, capaz de suportar o crescimento das fontes de energia renovável intermitente, como as centrais eólicas, nos períodos em que a sua produção é mais reduzida.

Os resultados da simulação mostram o aumento do peso das fontes renováveis, que passam de uma quota na produção de electricidade de 39,3% em 2010 para 51,7% em 2020. Estes resultados foram obtidos considerando valores habituais de disponibilidade do recurso natural. No entanto, devido à existência de uma reserva de potência térmica, no período entre 2010 e 2020, em média é possível cobrir até uma diminuição de 28,9% na previsão de produção de electricidade do conjunto das renováveis e da grande hídrica. Este facto permite reduzir a dependência do país em electricidade importada, durante os anos de menor produção das fontes renováveis.

A primeira simulação evidenciou que para um crescimento médio anual do consumo global de electricidade de 2,3%, as políticas e planos de acção do Estado Português, permitirão atingir os objectivos propostos. Verificou-se que a aposta no desenvolvimento das fontes renováveis é possível e depende apenas da concretização dos projectos planeados para o futuro.

Com base nos resultados obtidos na freguesia da Portela e em dados estatísticos sobre o edificado a nível nacional, calculou-se uma primeira aproximação para o potencial de produção de electricidade a partir de sistemas fotovoltaicos instalados sobre as coberturas de edifícios residenciais. Obteve-se uma potência instalada de 18933 MW, o que equivaleria à produção anual de 26317 GWh. Este valor representaria praticamente o dobro do consumo de electricidade no sector doméstico no ano de 2008, e é um valor superior ao consumo previsto pela simulação para o ano de 2025.

Está-se perante um valor claramente majorado e impossível de aplicar no intervalo de tempo da simulação, logo, optou-se por simular a implementação faseada 1893 MW (10% do valor do resultado anterior), entre os anos de 2015 e 2020. A simulação mostra que é possível ter até 12,3% da electricidade consumida no sector residencial, proveniente de produção fotovoltaica no próprio local de consumo.

Este cenário representa o equivalente à existência de 516 áreas urbanas com as características da Portela. Apenas uma análise mais detalhada e aprofundada sobre diversas áreas urbanas a nível nacional é que contribuirá para se obter uma conclusão mais consistente.

Capítulo 5

Conclusão

Neste capítulo serão apresentadas de forma sucinta e concisa as conclusões dos principais resultados obtidos. Começa-se por expor as conclusões referentes à freguesia da Portela, nomeadamente as suas características e os resultados sobre a possível implementação de fontes de energia renovável. Seguem-se as conclusões sobre a simulação efectuada sobre a instalação de fontes de energia renovável em meio urbano a nível nacional.

Por fim, será exposto um conjunto de sugestões para possíveis estudos futuros relacionados com o bairro da Portela e com os temas abordados no presente estudo.

5.1 Freguesia da Portela

A freguesia da Portela, uma área urbana composta essencialmente por edifícios residenciais, mas também por alguns edifícios de comércio e armazéns, possui um consumo anual de electricidade de 19,6 GWh. A curva de consumo horário de electricidade é típica de uma zona maioritariamente residencial, com um consumo reduzido durante a noite e madrugada, um aumento durante o período diurno e um pico de consumo entre as 18 e as 23 horas.

Nesta freguesia existem 13742 habitantes, os quais vivem em 255 edifícios. Ao se contabilizar apenas o sector doméstico, o consumo de electricidade anual estimado é de de 14,5 GWh, resultando numa média de 3,1 MWh por alojamento familiar de residência habitual e de 0,198 MWh por m^2 de área bruta de cobertura residencial. As emissões anuais de CO_2 associadas ascendem a 5620 t ou a 7584 t caso se considere toda a freguesia.

Com recurso a um modelo tridimensional do edificado da freguesia e usando uma metodologia adequada a cada fonte renovável, ficou demonstrado que a freguesia da Portela possui um grande potencial para a produção local de electricidade a partir de fontes de energia renovável.

Supôs-se a instalação de painéis fotovoltaicos nas coberturas dos edifícios, com base na fracção de área útil por cobertura: uma média de 62% nos edifícios residenciais, enquanto que nos restantes é de 89%. O rácio entre a área de painéis e a área útil é de 33% e foi obtido de modo a maximizar a produção.

Assim, é possível uma produção anual de 2770 MWh, se apenas forem colocados painéis fotovoltaicos nas coberturas dos edifícios residenciais, perfazendo uma potência instalada de 1996 kW. A esta

situação corresponde 19,1% do consumo residencial de electricidade. Considerando todas as coberturas dos edifícios da freguesia, chega-se a uma potência instalada de 3672 kW e uma produção anual de 5090 MWh, o que representa 26,0% do consumo total da freguesia. Neste último caso, tem-se em média uma produção de electricidade por área útil de 65,3 kWh/m^2, face a um consumo total de 250,7 kWh/m^2. Outra conclusão importante é que face ao perfil de consumo de electricidade da freguesia, a produção diária de electricidade a partir dos sistemas fotovoltaicos, nunca é superior ao consumo verificado.

O custo da electricidade produzida pode atingir os 0,2062 €/kWh, tendo em consideração uma taxa de actualização de 4% durante os 20 anos de vida útil dos sistemas, um custo de investimento de 3551 €/kW, e custos de operação e manutenção de 24,5 €/kW. No caso de se considerar anualmente, um aumento de 2% dos custos de operação e manutenção e uma diminuição de 0,8% na electricidade produzida, o custo da electricidade passa para 0,2234 €/kWh.

A produção fotovoltaica de 5090 MWh permite evitar a emissão anual de 1976 t de CO_2, havendo uma outra vantagem caso seja possível a produção em regime especial, que é a venda da electricidade à rede pública a um preço de 0,4232 €/kWh. Tal facto possibilitaria uma taxa interna de rentabilidade de 9,54% e um tempo de retorno do investimento de oito anos.

Relativamente à produção de electricidade a partir de mini-turbinas eólicas, concluiu-se que é possível instalar um total de 140 turbinas *T.Urban*, o que constitui um parque eólico urbano com uma potência instalada de 350 kW. Usando a função de Weibull com $\bar{u} = 5,5$ m/s e $k = 2$, resulta numa produção anual de electricidade de 468,2 MWh, equivalendo a 3,23% do consumo residencial e a 2,39% do consumo total da freguesia da Portela. Evita-se a emissão anual de 181,6 t de CO_2.

O custo da electricidade produzida é de 0,1854 €/kWh, calculado com base numa taxa de actualização de 4% durante os 20 anos de vida útil das turbinas, um custo de investimento de 2800 €/kW, e custos de operação e manutenção de 42,0 €/kW.

Em conjunto, esta duas tecnologias podem produzir até um máximo de 5558 MWh por ano, o que corresponde a 28,4% do consumo de electricidade de toda a freguesia da Portela. Esta electricidade produzida permite evitar a emissão anual de 2158 t de CO_2. O custo ponderado da electricidade produzida é de 0,2202 €/kWh.

Perante os resultados obtidos conclui-se que a possível implementação de fontes de energia renovável nas coberturas dos edifícios da freguesia da Portela, embora seja bastante exequível, exige um planeamento cuidado e um conhecimento prévio das características do local.

Conjuntamente à implementação de fontes de energia renovável é essencial o desenvolvimento de um série de procedimentos que visem a redução do consumo de electricidade e da sua utilização mais eficiente.

5.2 A nível nacional

A simulação da evolução futura do sistema electroprodutor nacional foi baseada no Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis, elaborado pelo Estado Português. Este plano contempla uma

grande aposta no desenvolvimento das fones de energia renovável e a instalação de nova capacidade térmica, nomeadamente centrais térmicas de ciclo combinado a gás natural.

Os resultados da simulação mostram o aumento do peso das fontes renováveis na produção de electricidade, passando de uma quota de 39% em 2010 para 52% em 2020. No entanto, devido à existência de uma reserva de potência térmica, no período entre 2010 e 2020, em média é possível cobrir até uma diminuição de 28,9% na previsão de produção de electricidade do conjunto das renováveis e da grande hídrica. Deste modo, reduzir-se-à a dependência do país em electricidade importada, durante os anos de menor produção das fontes renováveis, e permitir-se-à o crescimento de fontes de energia renovável de produção intermitente.

A primeira simulação mostrou que para um crescimento médio anual do consumo global de electricidade de 2,3%, as políticas e planos de acção do Estado Português, permitirão atingir os objectivos propostos. Constatou-se que a aposta no desenvolvimento das fontes renováveis é possível e depende apenas da concretização dos projectos planeados para o futuro.

O cálculo aproximado do potencial de produção de electricidade a partir de sistemas fotovoltaicos instalados sobre as coberturas de edifícios residenciais, resultou num máximo de potência instalada de 18933 MW, o que corresponde a uma produção de electricidade de 26317 GWh/ano.

Claramente se está perante um valor majorado e impossível de aplicar no intervalo de tempo da simulação, logo, optou-se por simular a implementação faseada 1893 MW (10% do valor do resultado anterior), entre os anos de 2015 e 2020. A simulação mostra que é possível ter até 12,3% da electricidade consumida no sector residencial, proveniente de produção fotovoltaica no próprio local de consumo.

Este cenário representa o equivalente à existência de 516 áreas urbanas com as características da Portela. Apenas uma análise mais detalhada e aprofundada sobre diversas áreas urbanas a nível nacional, é que poderá contribuir para se obter uma conclusão mais consistente.

5.3 Desenvolvimentos futuros

Diversos estudos podem ser desenvolvidos com base no bairro da Portela, de modo a aprofundar e diversificar os temas desenvolvidos no presente trabalho.

Seria interessante realizar um estudo detalhado sobre a avaliação do potencial de produção de energia a partir de outras fontes renováveis, tal como já fora referido na secção 3.3. A instalação de mini-turbinas hídricas na rede de abastecimento de água potável da freguesia, ou sistemas de cogeração a biomassa constituem hipóteses a explorar.

O presente estudo teve como objecto toda a freguesia da Portela, no entanto, a análise pormenorizada de um único edifício, detalhando ao pormenor a implementação de fontes de energia renovável, e discutindo a possível aplicação de medidas de eficiência energética, constituiria um trabalho importante e essencial no sentido de ser possível concretizar tais medidas.

Finalmente, o desenvolvimento de um modelo financeiro que possibilite o investimento, exploração e manutenção de fontes de energia renovável, numa área urbana composta por largas dezenas de

edifícios privados, representa um grande desafio que terá de ser abordado.

Bibliografia

[1] **International Energy Agency (2009)**, *Key World Energy Statistics*, OECD/IEA, Paris, França.

[2] **International Energy Agency (2009)**, *European Union - 27, Statistics* - http://www.iea.org/stats/regionresults.asp?country_code=30, Paris, França.

[3] **DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia (2010)**, *Estatísticas e Preços* - http://www.dgge.pt, Lisboa, Portugal.

[4] **International Energy Agency (2008)**, *World Energy Outlook 2008*, OECD/IEA, Paris, França.

[5] **European Renewable Energy Council (2004)**, *Renewable Energy in Europe: Building Markets and Capacity*, James & James, Londres, Reino Unido.

[6] **International Energy Agency and Photovoltaic Power Systems Programme (2009)**, *Trends in Photovoltaic Applications - Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008*, IEA, Paris, França.

[7] **European Photovoltaic Industry Association (EPIA)/Greenpeace (2001)**, *Solar Generation - A Blueprint for Bringing Solar Electricity to 1 Billion People by 2020*, EPIA/Greenpeace.

[8] **European Photovoltaic Industry Association (EPIA)/Greenpeace (2006)**, *Solar Generation - Solar Electricity for Over 1 Billion People and 2 Million Jobs by 2020*, EPIA/Greenpeace.

[9] **Hoffmann W. (2006)**, *PV solar electricity industry: Market growth and perspective*, Solar Energy Materials and Solar Cells **90**, pp. 3285-3311, doi:10.1016/j.solmat.2005.09.022.

[10] **European Photovoltaic Industry Association (2009)**, *Global Market Outlook for Photovoltaics until 2013*, Bruxelas, Bélgica.

[11] **Hirshman W. P. (2009)**, *Little smiles on long faces*, Photon International March 2009, pp. 170-206, Aachen, Germany.

[12] **Archer C. L., Jacobson, M. Z. (2005)**, *Evaluation of global wind power*, J. Geophys. Res., 110, D12110, doi:10.1029/2004JD005462

[13] **European Wind Energy Association (2005)**, *Wind Force 12 - A blueprint to achieve 12% of the world's electricity from wind power by 2020*, Bruxelas, Bélgica.

[14] **European Wind Energy Association (2009)**, *Wind Energy - The Facts*, Bruxelas, Bélgica.

[15] **European Wind Energy Association (2009)**, *Pure Power - Wind energy targets for 2020 and 2030*, Bruxelas, Bélgica.

[16] **European Solar Thermal Industry Federation (2009)**, *Solar Thermal Markets in Europe - Trends and Market Statistics 2008*, Bruxelas, Bélgica.

[17] **ESHA - European Small Hydropwer Association (2002)**, *Strategic study for the development of Small Hydro Power in the European Union*, Bruxelas, Bélgica.

[18] **ESHA - European Small Hydropower Association (2005)**, *State of the Art of Small Hydropower in EU-25*, Bruxelas, Bélgica.

[19] **Commission of the European Communities (1997)**, *Energy for the Future: Renewable Sources of Energy - White Paper for a Community Strategy and Action Plan, COM(97) 599* - http://ec.europa.eu/energy/library/599fi_en.pdf, Bruxelas, Bélgica.

[20] **EurActiv.com (2007)**, *EU renewable energy policy* - http://www.euractiv.com/en/energy/eu-renewable-energy-policy/article-117536, Bruxelas, Bélgica.

[21] **Commission of the European Communities (2006)**, *Geen Paper - A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy, COM(2006) 105* - http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2006/com2006_0105en01.pdf, Bruxelas, Bélgica.

[22] **Commission of the European Communities (2007)**, *Renewable Energy Road Map - Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future, COM(2006) 848* - http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2006/com2006_0848en01.pdf, Bruxelas, Bélgica.

[23] **Commission of the European Communities (2006)**, *Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential, COM(2006) 545* - http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2006/com2006_0545en01.pdf, Bruxelas, Bélgica.

[24] **Commission of the European Communities (2007)**, *An Energy Policy for Europe, COM(2007) 1* - http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007_0001en01.pdf, Bruxelas, Bélgica.

[25] **ADENE - Agência para a Energia (2010)**, *Enquadramento e objectivos* - http://www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Apresentacao/Enquadramentoeobjectivos/Enquadramento+e+objectivos.htm, Oeiras, Portugal.

[26] **Plataforma Casa Certificada (2010)**, *Estatísticas, informações actuais* - http://www.casacertificada.pt/documentacao, Oeiras, Portugal.

[27] **INESC Porto - Unidade de Sistemas de Energia (2010)**, *InovGrid é um apoio à microprodução* - http://www2.inescporto.pt/use/noticias-eventos/nos-na-imprensa/inovgrid-e-um-apoio-a-microproducao/, Porto, Portugal.

[28] **EDP - Energias de Portugal, S.A. (2010)**, *InovGrid* - http://www.edpdistribuicao.pt/pt/rede/InovGrid/Pages/InovGrid.aspx, Lisboa, Portugal.

[29] **EDP - Energias de Portugal, S.A. (2010)**, *InovCity* - http://www.inovcity.pt/pt/, Lisboa, Portugal.

[30] **LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2005)**, *Edifício SOLAR XXI - Um edifício energeticamente eficiente em Portugal* - http://www.ineti.pt/download.aspx?id=7797DB40A99490D924835E30481203D8, Lisboa, Portugal.

[31] **Twinn C. (2003)**, *BedZED*, The Arup Journal, Londres, Reino Unido.

[32] **Hodge J., Haltrecht J. (2008)**, *BedZED Monitoring Report 2007*, BioRegional, Londres, Reino Unido.

[33] **Hodge J., Haltrecht J. (2009)**, *BedZED seven years on - The impact of the UK's best known eco-village and its residents*, BioRegional, Londres, Reino Unido.

[34] **SECURE - Sustainable Energy Communities in Urban Areas in Europe (2009)**, *SECURE - Key Results* - http://www.secureproject.org/download/18.3d9ff17111f6fef70e9800045493/Secure+Result+oriented+Report.pdf, Malmö, Suécia.

[35] **Large Cities Climate Leadership Group (2010)**, *Clinton Climate Initiative City Programmes* - http://www.c40cities.org/initiatives/ccicityprogrammes/, Londres, Reino Unido.

[36] **Raposo T. (2005)**, *Diagnóstico social da freguesia da Portela*, Comissão Social de Freguesia da Portela (CSFP), Portela, Portugal.

[37] **Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2003)**, *Censos 2001, versão 1.0 em CD*, Lisboa, Portugal.

[38] **Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2008)**, *O País em Números, versão 3.0 em CD*, Lisboa, Portugal.

[39] **EDP - Energias de Portugal, S.A. (2009)**, *Emissões Atmosféricas* - http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/alteracoesclimaticas/emissoesatmosfericas/Pages/EmissoesAtmosfericas.aspx, Lisboa, Portugal.

[40] **EDP - Energias de Portugal, S.A. (2009)**, *Relatório e Contas 2008, Caderno Institucional, do Governo da Sociedade e de Sustentabilidade*, Lisboa, Portugal.

[41] **Censolar - Centro de Estudios de la Energía Solar (2007)**, *Curso de Proyectista Instalador de Energía Solar (Fototérmica y Fotovoltaica)*, Sevilha, Espanha.

[42] **PVGIS - Photovoltaic Geographical Information System**, *Frequently Asked Questions about PVGIS and Interactive Maps* - http://sunbird.jrc.it/pvgis/info/faq.htm, Petten, Holanda.

[43] **Santos R. M. G. (2008)**, *Introdução à Avaliação Económica de Investimentos*, Lisboa, Portugal.

[44] **WINEUR Project - Wind Energy Integration in the Urban Environment (2007)** - http://www.urbanwind.net/wineur.html, Bruxelas, Bélgica.

[45] **LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2009)**, *T.Urban Technical Details* - http://www.urbanwind.net/wineur.html, Lisboa, Portugal.

[46] **Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E. (2001)**, *Wind Energy Handbook*, Wiley, Chichester, Reino Unido.

[47] **LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2009)**, *Atlas Eólico* - http://www.ineti.pt/projectos/descricao_projecto.aspx?tab=pag12194&id=299, Lisboa, Portugal.

[48] **LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2009)**, *EOLOS - Base de Dados do Potencial Energético do vento em Portugal* - http://www.ineti.pt/viewDoc.aspx?src=C7B3D76B5EFCE7DA832880EEAD374110, Lisboa, Portugal.

[49] **CEEESA - Center for Energy, Environmental, and Economic Systems Analysis (2009)**, *Energy and Power Evaluation Program (ENPEP-BALANCE)* - http://www.dis.anl.gov/projects/Enpepwin.html, Argonne, EUA.

[50] **Ministério da Economia e da Inovação (2008)**, *A Factura Energética Portuguesa 2007*, Lisboa, Portugal.

[51] **Ministério da Economia e da Inovação (2010)**, *A Factura Energética Portuguesa 2009*, Lisboa, Portugal.

[52] **EDP - Energias de Portugal, S.A. (2007)**, *Relatório e Contas 2006, Instalações 2006*, Lisboa, Portugal.

[53] **EDP - Energias de Portugal, S.A. (2008)**, *Relatório e Contas 2007, Instalações 2007*, Lisboa, Portugal.

[54] **EDP - Energias de Portugal, S.A. (2010)**, *Centros Produtores* - http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/index.php, Lisboa, Portugal.

[55] **Tejo Energia, S.A. (2009)**, *Sumário 2008 - Segurança e Ambiente* - http://www.tejoenergia.com/filecont/SUMARIO2008.pdf, Medas, Portugal.

[56] **Turbogás - Produtora Energética, S.A. (2009)**, *Sumário Ambiental* - http://www.turbogas.pt/fotos/gca/sa_pt_127374765817195933854bebd8caf0eb4.pdf, Medas, Portugal.

[57] **DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia (2010)**, *Renováveis: Estatísticas Rápidas* - http://www.dgge.pt, Lisboa, Portugal.

[58] **COGEN Portugal - Associação Portuguesa para a Eficiência Energética e Promoção da Cogeração (2010)**, *Co-geração em Portugal* - http://www.cogenportugal.com/general_content/showInformation.aspx?mt=1&ml=2&type=2, Porto, Portugal.

[59] **EDP - Energias de Portugal, S.A. (2010)**, *Produção Hidroeléctrica* - http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/producao.php?cp_type=he&map_type=he, Lisboa, Portugal.

[60] **Galp Energia, S.A. (2010)**, *Central de Ciclo Combinado* - http://www.galpenergia.com/PT/agalpenergia/os-nossos-negocios/Gas-Power/Power/central-de-ciclo-combinado/Paginas/Central-de-Ciclo-Combinado.aspx, Lisboa, Portugal.

[61] **República Portuguesa (2010)**, *Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE*, Lisboa, Portugal.

[62] **Apren - Associação de Energias Renováveis (2010)**, *Roteiro Nacional das Energias Renováveis - Aplicação da Directiva 2009/28/CE*, Lisboa, Portugal.

[63] **Apren - Associação de Energias Renováveis (2010)**, *Roteiro Nacional das Energias Renováveis - Aplicação da Directiva 2009/28/CE*, Lisboa, Portugal.

[64] **Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2010)**, *Estatísticas da Construção e Habitação 2009*, Lisboa, Portugal.

Anexo A

Produção em Regime Especial

A energia fornecida por Produtores em Regime Especial, que engloba a produção de energia em centrais hidroeléctricas com potência instalada até 10 MW, em centrais usando outras fontes de energia renovável e em centrais de co-geração, possui um sistema remuneratório que se encontra regulado por vários Decretos-Lei.

Em 1999, com o Decreto-Lei n.º 168/99, a remuneração passou a ser baseada num somatório de parcelas que incluem, entre outros, os custos evitados pelo Sistema Eléctrico Nacional com a entrada em funcionamento dos Produtores em Regime Especial e os benefícios ambientais decorrentes do uso de tecnologias mais limpas.

Em 2001, o Decreto-Lei n.º 339-C/2001 actualizou o tarifário de venda de energia de origem renovável à rede pública, diferenciando a remuneração com base na tecnologia e regime de exploração e mantendo a obrigação da rede pública comprar toda a energia produzida.

Em 2005, com o Decreto-Lei n.º 33-A/2005 e a Declaração de Rectificação n.º 29/2005 os parâmetros de cálculo foram actualizados e a respectiva fórmula foi ligeiramente alterada. Finalmente, o Decreto-Lei n.º 225/2007, de 31 de Maio, veio rever os critérios de remuneração da electricidade produzida em regime especial, nomeadamente nos seguintes aspectos: biogás e valorização energética de resíduos sólidos urbanos, criação de uma tarifa especial aplicável à microgeração fotovoltaica quando instalada em edifícios, introdução do solar térmoeléctrico como opção tecnológica e a valorização da biomassa florestal.

Assim, a fórmula de cálculo para a remuneração da electricidade entregue à rede pública pelo Produtor em Regime Especial é dada pela expressão A-1:

$$R_m = k_m \times (PF + PV + PA \times Z) \times k_p \times k_{IPC} \quad \text{(A-1)}$$

onde R_m é a remuneração mensal aplicável à central de produção em regime especial (em €/kWh), k_m é um coeficiente de modulação, PF, PV e PA são as parcelas de remuneração fixa, variável e ambiental, respectivamente, Z é um coeficiente referente às características específicas do recurso endógeno e da tecnologia utilizada, k_p é um coeficiente que representa as perdas de transporte evitadas, e k_{IPC} é um factor relativo à inflação e depende do índice de preços ao consumidor.

Os limites de validade desta remuneração estão fixados pelo Decreto-Lei n.º 225/2007, e após serem atingidos, as centrais renováveis passarão a ser remuneradas pela electricidade que vendem

à rede, de acordo com os preços de mercado. A maior parte das tecnologias renováveis tem o limite fixado em 15 anos, como é o caso do solar fotovoltaico, o qual também tem um limite relativo ao total de electricidade que fornecer à rede, o qual é de 21 GWh/MW.

A seguir, estão descritas as várias parcelas que compõem a expressão A-1, sendo que todas as grandezas são calculadas numa base mensal.

k_m **- coeficiente de modulação**

O coeficiente k_m pondera a electricidade fornecida à rede em função dos períodos tarifários (ponta, cheia ou vazio). Aquando do licenciamento, as centrais devem decidir se optam ou não por considerar este factor (à excepção da mini-hídrica), isto é, se toma o valor unitário ou se é dado pela expressão A-2:

$$k_m = \frac{k_{pc} \times E_{pc} + k_v \times E_v}{E} \tag{A-2}$$

onde E_{pc} é a electricidade em kWh/mês produzida nas horas de ponta e de cheia, E_v é a electricidade em kWh/mês produzida nas horas de vazio, e E é o total de electricidade produzida pela central renovável durante o mês (kWh/mês). Os factores k_{pc} e k_v, no caso da mini-hídrica, tomam os valores 1,15 e 0,8, respectivamente, e de 1,25 e 0,65 para as restantes fontes renováveis.

PF **- parcela fixa**

Este termo representa a contribuição da central renovável na garantia de potência proporcionada pela rede pública, e é dado pela expressão A-3:

$$PF = C_{PF} \times k_{PF} \times P_{med} \tag{A-3}$$

onde C_{PF} é um coeficiente de valor fixo em 5,44 €/kW e que traduz o custo de investimento em novos meios de produção cuja construção é evitada por uma central renovável que assegure o mesmo nível de garantia de potência, e P_{med} é a potência média em kW disponibilizada pela central renovável à rede pública. O valor de P_{med} é o mínimo entre a potência nominal, P_{nom}, e a potência média mensal efectivamente disponibilizada (quociente entre a energia produzida e o número de horas em 30 dias).

O coeficiente k_{PF} é adimensional e obtém-se a partir da expressão A-4:

$$k_{PF} = \frac{n.^{\circ}\, de\, horas\, que\, a\, central\, funcionou\, à\, potência\, nominal}{n.^{\circ}\, de\, horas\, de\, referência} = \frac{E/P_{nom}}{0,8 \times 24 \times 30} = \frac{E}{576 \times P_{nom}} \tag{A-4}$$

No caso de P_{med} ser igual à potência média mensal efectivamente disponibilizada pela central renovável, a energia produzida é dada por $E = 24 \times 30 \times P_{med}$, e a expressão da parcela fixa fica:

$$PF = C_{PF} \frac{E}{576 \times P_{nom}} P_{med} = C_{PF} \frac{24 \times 30 \times P_{med}}{576 \times P_{nom}} P_{med} = C_{PF} \frac{1,25 \times P_{med}}{P_{nom}} P_{med} \tag{A-5}$$

PV **- parcela variável**

A energia entregue à rede pela central renovável está associada à parcela variável, que é calculada pela expressão A-6:

$$PV = C_{PV} \times E \tag{A-6}$$

onde C_{PV} corresponde aos custos de operação e manutenção que seriam necessários à exploração dos novos meios de produção cuja construção é evitada pela central renovável, estando o seu valor fixo em 0,036 €/kWh.

PA **- parcela ambiental**

A parcela ambiental corresponde ao benefício ambiental proporcionado pela central renovável e o seu cálculo é efectuado pela equação A-7:

$$PA = C_{PA} \times DC_{ref} \times E \tag{A-7}$$

onde C_{PA} corresponde à valorização unitária do dióxido de carbono (€/ton) que seria emitido pelos novos meios de produção cuja construção é evitada pela central renovável e DC_{ref} é a emissão de dióxido de carbono em g/kWh, de uma central de referência que funcione em ciclo combinado. C_{PA} e DC_{ref} tomam os valores de 20 €/ton e 370 g/kWh, respectivamente.

Z **- coeficiente de tecnologia**

É um factor adimensional que está relacionado com a tecnologia usada, isto é, o seu valor e limites de validade relativamente à potencial instalada a nível nacional, dependem da fonte de energia renovável em questão.

Esses valores encontram-se fixados pelo Decreto-Lei n.º 225/2007, e no caso de centrais fotovoltaicas de microgeração, quando instaladas em edifícios de natureza residencial, comercial, de serviços ou industrial, até ao limite de uma potência instalada, a nível nacional, de 50 MW, Z toma um valor de 55 para uma potência instalada igual ou inferir a 5 kW e de 40 para uma potência instalada superior a 5 kW. No caso da energia eólica, não existe limite de potência a nível nacional e Z toma o valor de 4,6.

k_p **- coeficiente de perdas**

O coeficiente de perdas representa as perdas, nas redes de transporte e distribuição, evitadas pela central renovável e o seu valor depende da respectiva potência instalada, como se mostra na equação A-8:

$$\begin{aligned} k_p &= \frac{1}{1-0,035} \quad \Rightarrow \quad P_{nom} < 5\,\mathrm{MW} \\ k_p &= \frac{1}{1-0,015} \quad \Rightarrow \quad P_{nom} \geq 5\,\mathrm{MW} \end{aligned} \tag{A-8}$$

k_{IPC} **- coeficiente de inflação**

O termo k_{IPC} refere-se à taxa de inflação sendo calculado a partir da expressão A-9

$$k_{IPC} = \frac{IPC_{m-1}}{IPC_{ref}} \tag{A-9}$$

onde IPC_{m-1} é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente, referente ao mês $m-1$, e IPC_{ref} é o mesmo índice, mas referente ao mês anterior ao do início do fornecimento de electricidade à rede pela central renovável.

Sistemas fotovoltaicos: remuneração da produção em regime especial.

As tabelas A-1, A-2, A-3, contêm os valores mensais da remuneração da electricidade produzida por sistemas fotovoltaicos instalados sobre as coberturas dos edifícios da Portela. Os valores de constantes usadas nos cálculos dos resultados presentes nas tabelas foram apresentados anteriormente, à excepção do valor de ICP_{ref}, o qual toma o valor para o mês de Abril de 2008, que é de 100,3. Como se conhecem os valores do consumo de electricidade da freguesia da Portela entre Maio de 2008 e Abril de 2009, e que se encontram na tabela 2.2, optou-se por realizar os cálculos para esse mesmo período, de modo a assegurar a coerência dos resultados.

No cálculo do coeficiente k_m, fez-se $E_v = 0$ e $E_{pc} = E$, uma vez que não existe produção de electricidade nas horas de vazio.

Mês	E (kWh)	k_m	k_{pf}	P_{med} (kW)	PF (€)	PV (€)	PA (€)	IPC_{m-1}	k_{IPC} (€)	R_m (€)	R_m (€/kWh)
Janeiro	171000	1,25	0,149	238	192,2	6156	1265	98,6	0,983	71064,33	0,416
Fevereiro	164000	1,25	0,143	228	176,8	5904	1214	98,5	0,982	68076,74	0,415
Março	255000	1,25	0,222	354	427,4	9180	1887	99,3	0,990	106902,34	0,419
Abril	240000	1,25	0,209	333	378,6	8640	1776	99,6	0,993	100888,12	0,420
Maio	272000	1,25	0,237	378	486,3	9792	2013	100,7	1,004	115675,55	0,425
Junho	274000	1,25	0,238	381	493,4	9864	2028	101,2	1,009	117109,29	0,427
Julho	294000	1,25	0,256	408	568,1	10584	2176	100,6	1,003	124961,60	0,425
Agosto	295000	1,25	0,257	410	572,0	10620	2183	100,1	0,998	124765,90	0,423
Setembro	261000	1,25	0,227	363	447,7	9396	1931	100,6	1,003	110863,25	0,425
Outubro	228000	1,25	0,198	317	341,7	8208	1687	100,5	1,002	96686,91	0,424
Novembro	159000	1,25	0,138	221	166,2	5724	1177	99,8	0,995	66865,71	0,421
Dezembro	155000	1,25	0,135	215	157,9	5580	1147	99,3	0,990	64851,86	0,418
Média Anual	230667			320	367,3	8304	1707			97392,63	0,422
Total Anual	2770000									1168711,60	

Tabela A-1: Remuneração da electricidade entregue à rede pública pelos sistemas fotovoltaicos instalados apenas sobre coberturas de edifícios residenciais.

Mês	E (kWh)	k_m	k_{pf}	P_{med} (kW)	PF (€)	PV (€)	PA (€)	IPC_{m-1}	k_{IPC} (€)	R_m (€)	R_m (€/kWh)
Janeiro	143000	1,25	0,124	199	134,4	5148	1058	98,6	0,983	59395,23	0,415
Fevereiro	138000	1,25	0,120	192	125,2	4968	1021	98,5	0,982	57254,69	0,415
Março	215000	1,25	0,187	299	303,8	7740	1591	99,3	0,990	90062,33	0,419
Abril	202000	1,25	0,176	281	268,2	7272	1495	99,6	0,993	84850,59	0,420
Maio	229000	1,25	0,199	318	344,7	8244	1695	100,7	1,004	97306,15	0,425
Junho	230000	1,25	0,200	319	347,7	8280	1702	101,2	1,009	98218,26	0,427
Julho	247000	1,25	0,215	343	401,0	8892	1828	100,6	1,003	104887,63	0,425
Agosto	248000	1,25	0,216	344	404,2	8928	1835	100,1	0,998	104790,92	0,423
Setembro	219000	1,25	0,191	304	315,2	7884	1621	100,6	1,003	92946,24	0,424
Outubro	191000	1,25	0,166	265	239,8	6876	1413	100,5	1,002	80937,43	0,424
Novembro	134000	1,25	0,117	186	118,0	4824	992	99,8	0,995	56324,43	0,420
Dezembro	130000	1,25	0,113	181	111,1	4680	962	99,3	0,990	54365,05	0,418
Média Anual	193833			269	259,4	6978	1434			81778,25	0,421
Total Anual	2330000									981338,95	

Tabela A-2: Remuneração da electricidade entregue à rede pública pelos sistemas fotovoltaicos instalados apenas sobre coberturas de edifícios não residenciais.

Mês	E (kWh)	k_m	k_{pf}	P_{med} (kW)	PF (€)	PV (€)	PA (€)	IPC_{m-1}	k_{IPC} (€)	R_m (€)	R_m (€/kWh)
Janeiro	314000	1,25	0,273	436	648,0	11304	2324	98,6	0,983	130860,56	0,417
Fevereiro	302000	1,25	0,263	419	599,4	10872	2235	98,5	0,982	125702,18	0,416
Março	470000	1,25	0,409	653	1451,9	16920	3478	99,3	0,990	197870,11	0,421
Abril	442000	1,25	0,384	614	1284,0	15912	3271	99,6	0,993	186541,78	0,422
Maio	501000	1,25	0,436	696	1649,7	18036	3707	100,7	1,004	214024,88	0,427
Junho	505000	1,25	0,439	701	1676,1	18180	3737	101,2	1,009	216821,83	0,429
Julho	540000	1,25	0,470	750	1916,5	19440	3996	100,6	1,003	230632,60	0,427
Agosto	542000	1,25	0,471	753	1930,7	19512	4011	100,1	0,998	230345,29	0,425
Setembro	481000	1,25	0,418	668	1520,6	17316	3559	100,6	1,003	205196,44	0,427
Outubro	419000	1,25	0,364	582	1153,9	15084	3101	100,5	1,002	178352,22	0,426
Novembro	293000	1,25	0,255	407	564,2	10548	2168	99,8	0,995	123543,78	0,422
Dezembro	285000	1,25	0,248	396	533,8	10260	2109	99,3	0,990	119549,69	0,419
Média Anual	424500			590	1244,1	15282	3141			179953,45	0,423
Total Anual	5090000									2159441,36	

Tabela A-3: Remuneração da electricidade entregue à rede pública pelos sistemas fotovoltaicos instalados apenas sobre o total de coberturas de edifícios da freguesia da Portela.

Anexo B

Modelo ENPEP-BALANCE

O ENPEP-BALANCE [49] é um modelo não linear de equilíbrio, que relaciona a procura de energia com os recursos e tecnologias disponíveis. É um modelo com uma simulação orientada para o mercado, que permite determinar a resposta dos vários segmentos do sistema energético, a variações no preço da energia e nos níveis de procura.

O modelo baseia-se num processo de decisão descentralizado no sector da energia, e pode ser calibrado para diferentes cenários de utilizadores e fornecedores de energia. Parâmetros básicos a introduzir no modelo incluem a informação sobre a estrutura do sistema energético, estatísticas energéticas do ano base como níveis de produção e de consumo, preços, crescimento previsto da procura de energia, e restrições políticas ou tecnológicas. Também podem ser considerados parâmetros ambientais que permitam calcular as emissões de gases poluentes associados ao sector energético. Na figura B-1 encontra-se um esquema simplificado do modelo, com o tipo de dados iniciais e o resultado genérico que se obtém.
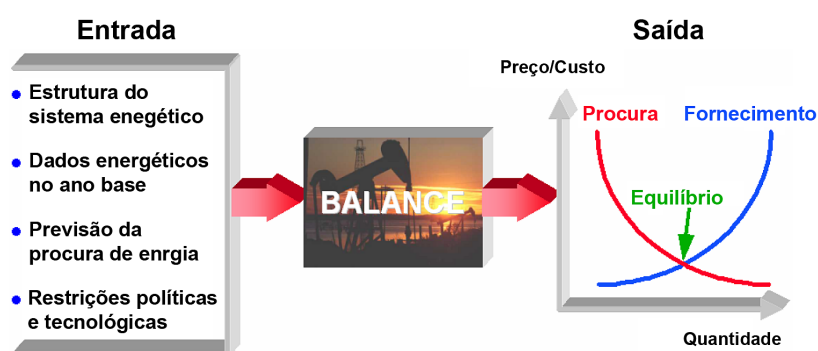
Figura B-1: Esquema simplificado do funcionamento do modelo ENPEP-BALANCE.

O primeiro passo consiste no desenho de uma rede energética, de modo a traçar o fluxo de energia desde os recursos primários até aos sectores de consumo final. As redes do ENPEP-BALANCE são construídas usando diferentes nodos e ligações, os quais representam os vários componentes de um sistema energético. Os nodos podem representar recursos finitos ou renováveis, vários processos de conversão, refinarias, centrais térmicas ou hídricas, unidades de co-geração, competição no mercado, taxas e subsídios e procura de energia. As ligações conectam os nodos, transferindo informação entre eles. Na figura B-2 encontram-se os vários nodos divididos consoante o tipo de processo que

representam.
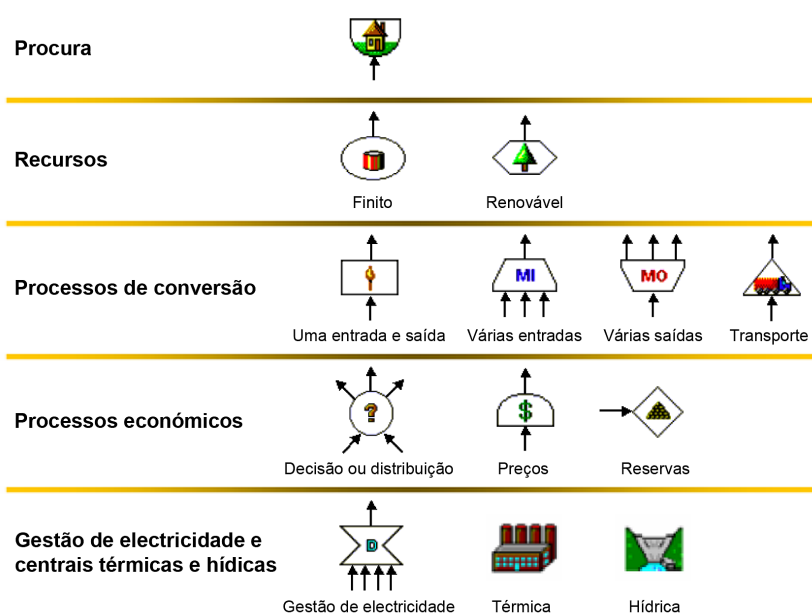
Figura B-2: Vários nodos do modelo ENPEP-BALANCE divididos consoante o tipo de processo.

Cada nodo corresponde a um diferente sub-modelo, e está associado a equações específicas que relacionam a quantidade e os preços da energia à entrada e à saída dos nodos. A seguir encontra-se uma descrição sumária do vários nodos:

- **Procura**: simula a procura de um recurso energético (energia primária, electricidade ou calor) por um consumidor final.

- **Recurso finito**: modela a produção de um recurso finito, como petróleo, carvão ou gás, e que pode ser importado ou produzido domesticamente.

- **Recurso renovável**: modela a produção de um recurso renovável, como a biomassa ou a energia solar.

- **Reservas**: representa a acumulação de reservas de um recurso ou matéria prima com valor energético.

- **Decisão ou distribuição**: modela a escolha de mercado entre várias fontes de energia.

- **Preços**: simula a aplicação de políticas de regulação e regulamentação de preços, como impostos ou subsídios.

- **Conversão ou processamento**: simula a conversão ou o processamento de um recurso, combustível ou produto, noutra forma de energia. Exemplos típicos são uma caldeira que usa fuelóleo para gerar vapor de água, ou um processo de destilação de biomassa para se obter etanol.

- **Várias entradas**: modela sistemas que possuem mais do que uma fonte de energia com combustível, sendo o caso de colectores solares térmicos que normalmente usam o gás natural como fonte auxiliar.

- **Várias saídas (refinaria)**: é um nodo normalmente usado para modelar uma refinaria, que possui um produto de entrada (o petróleo), dá origem a vários produtos derivados do processo.

- **Gestão de electricidade**: modela a potência de saída de centrais de produção de electricidade, como em centrais térmicas ou hídricas.

O modelo emprega um algoritmo de quota de mercado para estimar o crescimento de alternativas às fontes dominantes, sendo a quota de mercado de um bem específico sensível ao seu preço em comparação com as alternativas. Existem outras propriedades impostas pelo utilizador, como políticas governamentais (impostos ou subsídios), preferências dos consumidores, a habilidade dos mercados responderem a variações dos preços, as quais também influenciam a quota de mercado de uma fonte energética. A equação B-1 é usada pelo modelo para calcular a quota de mercado de uma fonte de energia, no caso específico de duas fontes concorrentes entre si:

$$QM_1 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{\left(\frac{1}{P_1 \times m_1}\right)^\beta}{\left(\frac{1}{P_1 \times m_1}\right)^\beta + \left(\frac{1}{P_2 \times m_2}\right)^\beta} \tag{B-1}$$

onde QM_1, Q_1 e P_1 são a quota de mercado, a quantidade consumida e o preço de uma fonte, respectivamente, m_1 e m_2 são factores multiplicativos, e β é um factor que representa a sensibilidade do consumidor ao preço.

O modo como o valor de β influencia a quota de mercado de um produto, pode ser observado no gráfico da figura B-3. Quando $\beta = 1$ o mercado apenas reage à variação do preço P_1 quando este está muito próximo do preço P_2, havendo uma variação brusca da quota de mercado do produto 1 em direcção a zero, logo que se tenha $P_1 > P_2$. Nos outros casos, quanto mais elevado for o valor de β mais gradual será a perda de quota de mercado do produto 1 para o produto 2.

Figura B-3: Influência do valor de β na alteração da quota de mercado, quando existe a variação relativa do preço de um dos produtos.

A utilização de um algoritmo orientado para a quota de mercado distingue este modelo de outras técnicas. O ENPEP-BALANCE simula de forma mais precisa o comportamento complexo de um mercado com vários decisores, do que os modelos de optimização que apenas assumem um único decisor. Cada sector (eléctrico, industrial, residencial, etc.) possui diferentes objectivos, tendo diferentes definições do que é considerado como óptimo. A solução de equilíbrio permite obter uma configuração do sistema energético que concilia as procuras concorrentes, os objectivos e as forças de mercado, sem que haja uma optimização transversal a todos os sectores da economia.

O presente modelo determina simultaneamente a intersecção entre as curvas de procura e de fornecimento, para todas as formas de energia usadas pela rede energética. O equilíbrio é alcançado

quando o modelo encontra um conjunto de preços e quantidades que satisfazem as equações e inequações relevantes, sendo empregue o método iterativo de Jacobi para encontrar a solução que satisfaz o limite de convergência definido pelo utilizador.

As soluções obtidas pelo modelo devem ser interpretadas como o que possivelmente irá acontecer, assumindo que os dados inseridos no modelo descrevem fielmente a realidade a simular. Em algumas circunstâncias, os resultados podem ser vistos como possíveis cenários sobre a evolução de um sistema energético face às várias circunstâncias impostas pelo utilizador. O facto mais importante a ter em consideração é que os resultados obtidos pelo modelo serão tanto mais próximos da realidade, quanto mais fidedignos forem os dados sobre o sistema energético a simular.